Phys.
o.
139 a

Lehrbuch

des

Magnetismus

und des

Erdmagnetismus.

Nebst einer

Sammlung von gelösten und ungelösten Aufgaben

erläutert durch

189 in den Text gedruckte Figuren

und 10 Karten

zum

Gebrauch an niederen und höheren Schulen, sowie zum rationellen Selbststudium

bearbeitet von

Dr. A. Kleyer

Ingenieur und Lehrer, vereideter königl. preuss. Feldmesser, vereideter grossh. hess. Geometer I. Klasse in Frankfurt a. M.

Stuttgart.

Verlag von Julius Maier.

1885.

BIBLIOTHECA BAMBERGENSIS

STAATSBIBLIOTHEK BAMBERG

Druck von Carl Hammer in Stuttgart.

Vorwort.

Eine systematische Bearbeitung von Lehrbüchern über die Elektricitätslehren ist sehr schwer, indem die bei diesen Lehren zu entwickelnden Gesetze teils durch Experimente, welche keine logische Anordnung zulassen und oft auch in gar keinem Zusammenhang stehen, teils durch die Annahme von Hypothesen begründet werden.

Dies mag auch der Grund sein, warum die diesbezügliche Litteratur zwar reich an allen möglichen Abhandlungen, aber sehr arm an wirklichen Lehrbüchern ist.

Bei der Bearbeitung meiner Lehrbücher über die Elektricitätslehren berücksichtigte ich die Thatsache, dass wenn jemand in der Erkenntnis einer Wissenschaft, oder auch nur eines Zweiges einer solchen, bis zu einem gewissen Grad der Vollkommenheit (?) gelangen will, er sich zunächst einen Ueberblick sowohl über diese Wissenschaft als auch über die damit verwandten Wissenschaften verschaffen muss und dass er dann nach Erlangung desselben den Weg zu jener Vollkommenheit (?) von selbst findet. — Ich markierte hier das Wort „Ueberblick", indem von einem tief eingehenden Studium jener verwandten Wissenschaften etc. abstrahiert werden muss, denn dazu reicht die kurze Spanne unseres Lebens nicht aus.

Um bei dem Studium der Elektricitätslehren einesteils jenen Ueberblick zu gewähren, andernteils ein tieferes Eindringen in die einzelnen Zweige zu erleichtern, habe ich z. B. vorliegendes Buch, welches die Lehren über den Magnetismus und den Erdmagnetismus enthält, in 2 Teile, in einen populären und in einen mathematischen Teil geteilt.

Das Studium des 1. Teils wird für den weitaus grössten Teil der Studierenden vollkommen genügen und bei den vielfachen Anforderungen, welche an die studierende Jugend gestellt werden, auch keine Ermüdung hervorrufen, im Gegenteil das Interesse der stets wissbegierigen Jugend wach halten.

Das Studium des 2. Teils wird für diejenigen, welche eingehend die oft verwickelten Lehren des Magnetismus und besonders die des Erdmagnetismus untersuchen wollen, eine gute Vorschule, und für diejenigen, welche ihre all-

gemeinen Kenntnisse in Mathematik und Mechanik probieren wollen, ein zweckdienliches Uebungsbuch sein. Bemerken will ich hier noch, dass durch die im Anhang befindlichen gelösten Aufgaben manches im 2. Teil enthaltene noch besser beleuchtet wird.

In dem mathematischen Teil habe ich die Anwendung der höheren Mathematik ausgeschlossen, da der grösste Teil der Studierenden, wenn auch mit den Prinzipien der höheren Mathematik vertraut, doch meistens die Geläufigkeit nicht hat, deren Anwendungen kurz zu verstehen. In dieser Beziehung verweise ich auf mein Lehrbuch der Potentialtheorie und auf meine Lehrbücher, welche über höhere Mathematik handeln und in welchen auch diesbezügliche angewandte Aufgaben enthalten sind.

Ausführliches über den tierischen Magnetismus ist in meinen Lehrbüchern über die Elektrotherapie enthalten.

Vorliegendes Lehrbuch des Magnetismus übergebe ich der Oeffentlichkeit mit dem Wunsche, dass es jeder zu seinem Studium in dem Sinn gebrauchen möge, in welchem ich es geschrieben habe. Zum Schlusse bemerke ich noch, dass in meinem Lehrbuch des Elektromagnetismus noch manches wissenswerte über den Magnetismus enthalten ist, was vielleicht ein oder der andre in diesem Buche finden zu müssen glaubt.

Frankfurt a. M., im Februar 1885.

Dr. A. Kleyer.

Inhaltsverzeichnis.

I. Teil.
(Populärer Teil.)

Seite

I. Ueber den Magnetismus und die Magnete im allgemeinen 1

II. Ueber die magnetischen Erscheinungen:

1). Ueber die magnetische Anziehung 5

2). Ueber die Benennung und Bezeichnung der Pole eines Magnets 8
(Magnetische Direktionskraft.)

3). Ueber die Anziehung und Abstossung der Pole zweier Magnete 13
(Gesetz der Polarität.)

4). Ueber die entgegengesetzten Magnetismen 15

5). Ueber den gebundenen und den freien Magnetismus 17

6). Ueber die durchdringende Kraft der Magnete 18
(Isolatoren des Magnetismus.)

7). Ueber die magnetische Induktion 19
(Koercitivkraft und magnetische Figuren.)

8). Ueber die Wirkung der Magnete aufeinander 27

III. Ueber das Wesen des Magnetismus 30
(Hypothesen.)

IV. Ueber die Herstellung künstlicher Magnete:

1). Allgemeines über die Herstellung künstlicher Magnete 34

2). Ueber die Beschaffenheit des bei Herstellung künstlicher Magnete zu verwendenden Eisens . 35

3). Ueber die anomalen Magnete . 37

4). Ueber die Methoden der Magnetisierung durch Streichen 38

5). Ueber die Erhaltung und Vermehrung der magnetischen Kraft von Magneten . 45
(Magnetische Armaturen und Tragkraft.)

6). Ueber die magnetischen Magazine 49

7). Ueber die Schwächung der magnetischen Kraft 51

8). Ueber den Sättigungspunkt und das Eindringen des Magnetismus 52

V. Ueber den Erdmagnetismus:

1). Ueber den Nachweis des Erdmagnetismus 54

2). Ueber die allgemeine Bestimmung der Lage eines frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnets . 59

3). Ueber die Deklinations-, Inklinations- und astatischen Nadeln:

a). Deklinationsnadel . 65

b). Inklinationsnadel . 66

c). Astatische Nadel . 67

4). Ueber die Verwendung der Deklinationsnadel zum Kompass und zur Bussole:

a). Ueber den Kompass im allgemeinen 69

b). Der Seekompass . 72

c). Die Bussole . 74

d). Der Hängekompass . 79

Seite

5). Ueber die magnetische Deklination:
a). Bestimmung der magnetischen Deklination eines Orts 80
(Deklinationsbussolen, Magnetometer, magnetischer Theodolit.)
b). Ueber die magnetische Deklination an verschiedenen Orten der Erde . 96
(Deklinationskarten.)
c). Ueber die magnetische Deklination eines Orts zu verschiedenen Zeiten 105
6). Ueber die magnetische Inklination:
a). Bestimmung der magnetischen Inklination eines Orts 111
(Inklinatorium.)
b). Ueber die magnetische Inklination an verschiedenen Orten der Erde . 114
(Inklinationskarten.)
c). Ueber die magnetische Inklination eines Orts zu verschiedenen Zeiten 118
7). Ueber die Intensität des Erdmagnetismus:
a). Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an einem bestimmten Ort 121
b). Ueber die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde 127
(Intensitätskarten.)
c). Ueber die Intensität des Erdmagnetismus eines Orts zu verschiedenen Zeiten 131
8). Ueber den Zweck der Untersuchungen des Erdmagnetismus 133
9). Ueber den magnetischen Zustand der Erde im allgemeinen 134
10). Vorstellung über den Sitz und die Ursache der erdmagnetischen Kraft . . . 136
(Hypothesen.)
11). Ueber die theoretischen Untersuchungen des Erdmagnetismus von Gauss . . 138

II. Teil.
(Mathematischer Teil.)

A). Ueber die Messung der magnetischen Kraft der Magnete:
1). Ueber die Messung der magnetischen Kraft durch die Tragkraft der Magnete 143
(Häckers Formel.)
2). Ueber die Messung der magnetischen Kraft von Magnetstäben durch die magnetische Direktionskraft derselben:
a). Ueber die magnetische Direktionskraft als Mittel zur Messung der magnetischen Kraft der Magnete 146
b). Ueber die Verteilung des Magnetismus in Magnetstäben 147
(Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus.)
c). Ueber die Art der Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab 152
(Coulombsche Drehwage, Drehungsmoment, Ablenkungsgesetz.)
d). Ueber die Bestimmung der Lage der magnetischen Pole und der magnetischen Axe eines Magnetstabs 163
e). Ueber das magnetische Moment eines Magnetstabs 165
f). Messung der magnetischen Direktionskraft eines Magnetstabs in bezug auf die eines andern Magnetstabs 168
g). Messung der magnetischen Direktionskraft eines Magnetstabs unabhängig von der eines andern Magnetstabs 170
h). Ueber die Bestimmung der Schwingungsdauer eines Magnetstabs . . . 172
i). Ueber die Bestimmung des Trägheitsmoments eines Magnetstabs . . . 174
k). Ueber die Messung der magnetischen Kraft eines Magnetstabs durch das magnetische Moment desselben 178
(Messung nach relativem und absolutem Mass.)
l). Ueber die Gesetze der Fernewirkung von Magneten aufeinander . . . 179
α). Ueber die Gesetze der Fernewirkung zweier gleichnamiger oder ungleichnamiger Magnetismen aufeinander 180
β). Ueber das Gesetz der Fernewirkung zweier vollständiger Magnete aufeinander . 186
m). Ueber das reduzierte Drehungsmoment 199
n). Ueber die Bestimmung des Drehungsmoments T, welches der Erdmagnetismus auf die Einheit des freien Magnetismus eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs ausübt 203
o). Ueber die magnetischen Masseinheiten 205
p). Ueber die spezielle Bedeutung des Trägheits-, des Drehungs- und des magnetischen Moments eines Magnetstabs 212
3). Ueber die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass 219

Seite

B). Ueber die magnetischen Kurven . 225
C). Ueber die Bestimmung des Sättigungspunkts (Häckers Formel) 227
D). Ueber den Einfluss mechanischer Kräfte, der Wärme und des Lichts auf Magnete und deren magnetische Kraft:
1). Ueber den Einfluss mechanischer Kräfte, als: Erschütterung, Biegung und Torsion 230
2). Ueber den Einfluss der Wärme 233
3). Ueber den Einfluss des Lichts 239
E). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Deklination, Inklination und Intensität:
1). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Deklination . . . 239
2). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Inklination . . . 241
(Indirekte Bestimmung der magnetischen Inklination.)
3). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Intensität 246

Anhang.

A). Gelöste Aufgaben:
1). Aufgaben über die Tragkraft der Magnete (Häckers Formel) 255
2). Aufgaben über das absolute Masssystem 258
3). Aufgaben über die Coulombsche Drehwage 259
4). Aufgaben über die Schwingungen eines Magnetstabs 262
5). Aufgaben über die Fernewirkung einfach magnetischer Massen und vollständiger Magnete aufeinander . 263
6). Aufgaben über die Bestimmung der magnetischen Kraft nach relativem Mass 270
7). Aufgaben über die Bestimmung der magnetischen Kraft nach absolutem Mass 273
8). Aufgaben über die Bestimmung der magnetischen Deklination, Inklination und Intensität:
α). Aufgaben über die magnetische Deklination 276
β). Aufgaben über die magnetische Inklination 276
γ). Aufgaben über die magnetische Intensität 282
9). Aufgaben über die Sättigung von Magneten 285
B). Ungelöste Aufgaben . 286
C). Zusammenstellung der Formeln, welche in diesem Buche entwickelt und benutzt sind 294

*

Berichtigungen.

1). In Frage 46 und deren Antwort soll es heissen: m a g n e t i s c h e Kurven, statt: merkwürdige Kurven.

2). Formel 2, siehe Antw. der Frage 148 soll heissen: $S^3 : S_1{}^3 = P^2 : P_1{}^2$, statt: $S^3 : S_1{}^3 = P^2 : P_1{}^3$

3). „ 5, „ „ „ „ 157 „ „ $M : M_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha_1)$, statt: $M_1 : M_2 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha_1)$

4). „ 34, „ „ „ „ 200 „ „ $tg\,\psi = \frac{r^3}{a\,.\,D} \cdot tg u$, statt: $tg\,\psi = \frac{r^2}{a\,.\,D} \cdot tg\,u$

5). In Gleichung 10). der Antwort der Frage 175 soll es im Nenner des 2. Bruchs rechts heissen: $r^2 + L^2 - 2r\,.\,L\,.\,\cos\beta$, statt: $r^2 + L^2 + 2r\,.\,L\,.\,\cos\beta$

6). In Antw. der Frage 194, Seite 226, Zeile 7 v. o. soll es heissen: (siehe Antw. der Frage 172), statt: (siehe Antw. der Figur 172).

Litteraturverzeichnis.

Airy, Ueber den Magnetismus, Berlin 1873.
Biot, Traité d. Phys., 1816.
Coulomb, Mémoires de l'Academie des sciences, Paris 1785.
Duperrey, Ann. d. Ch.
Ermann, Poggend. Ann., Bd. XXI.
Gauss, Intensitas vis magneticae, terrestris in mensuram absolutam revocata, Gött. 1832—37.
Gauss & Weber, Resultate des magnetischen Vereins, Göttingen 1836—41.
Gehlers Wörterbuch.
Gilbert, Physiologia nova de magnete magneticisque corporibus, London 1600.
Green, Crelles Journal, Bd. XLVII.
Häcker, Zur Theorie des Magnetismus, Nürnberg 1856.
Hansteen, Untersuchungen über den Magnetismus der Erde, Christiania 1819.
Haug, Exposition de la théoríe de l'électricité et du magnétisme d'âprès les principes de Mr. Aepinus, Altenburg 1801.
Joule, Philosophical Magasin, 1847.
Kupfer, Kastners Archiv.
Lamont, Handbuch des Magnetismus (Kastners Encyklopädie, Bd. XV), Berlin 1849.
Lloyd, Account of the magnetical Observatory of Dublin etc. By the Rev. Humphrey Lloyd, Dublin 1842.
Matteuci, Comptes Rendus, T. XXIV.
Moser, Dovés Repertorium.
Moser & Riess, Poggend. Ann.
Mousson, Physik, Zürich.
Müller, Kosmische Physik, Braunschweig 1854.
Müller, Lehrbuch der Physik, Braunschweig.
Poisson, Annales de chim. et de phys.
Parlow, Phil. Trans., 1833.
von Rees, Poggend. Ann.. Bd. LXX.
Seebeck, Poggend. Ann.
Wertheim, Annales de chim. et de phys., Poggend. Ann.
Wiedemann, Poggend. Ann.
Wüllner, Physik, Leipzig.

I. Teil.

(Populärer Teil.)

Der Magnetismus.

I.

Ueber den Magnetismus und die Magnete im allgemeinen.

Frage 1. Was ist Magnetismus?

Erkl. 1. Wie später gezeigt wird, gibt es mehrere Arten von Magnetismus; man spricht deshalb auch von „Magnetismen“.

Antwort. Magnetismus ist die Ursache einer Reihe von physikalischen Erscheinungen, welche durch sogenannte Magnete hervorgerufen werden. (Siehe auch Erkl. 1.)

Frage 2. Kann man den Magnetismus durch einen der fünf Sinne wahrnehmen?

Antwort. Der Magnetismus ist die geheimnisvollste und sich am meisten verbergende Kraft, indem man ihn durch keinen der fünf Sinne wahrnehmen kann; man sieht, hört, fühlt, riecht und schmeckt ihn nicht.

Frage 3. Was versteht man im allgemeinen und was im engeren Sinne unter einem Magnet?

Antwort. Im allgemeinen Sinne versteht man unter einem Magnet irgend eine Substanz, welche die Eigenschaft hat, eine andere Substanz anzuziehen und dauernd festzuhalten.

Im engeren Sinne versteht man unter einem Magnet ein Mineral (ein Stein), welches die Eigenschaft hat, Eisen anzuziehen und dauernd festzuhalten.

Frage 4. Woher rührt die Bezeichnung „Magnet“ oder „Magnetstein“?

Erkl. 2. „Magnesia“ war eine Stadt in Lydien (Kleinasien) nicht weit von Smyrna, jetzt unter dem Namen Manissa bekannt. Die Stadt Magnesia wurde wahrscheinlich von den aus Thessalien eingewanderten Magneten gegründet.

Erkl. 3. Die Griechen nannten die eisenanziehenden Steine auch „heracleische Steine“.

Antwort. Die Bezeichnung „Magnet“ oder „Magnetstein“ rührt nach Aristoteles von den alten Griechen. Sie nannten die Stücke eines gewissen Minerals, nämlich eines Eisenerzes, in welchen sie zuerst die eisenanziehende Eigenschaft wahrnahmen, „Magnete“ oder „Magnetsteine“ und zwar aus dem Grunde, weil sie solche Steine in Gruben in der Nähe der Stadt Magnesia vorfanden.

Frage 5. Woran erkennt man einen Magnetstein?

Antwort. Bringt man das zu untersuchende Material in die Nähe von kleinen Eisenteilchen, z. B. in die Nähe von Eisenfeilspähnen oder kleinen Nägeln und letztere bewegen sich oder werden von dem Mineral angezogen, so ist jenes Mineralstück ein Magnet oder ein Magnetstein. Auf andere Körper und Metalle übt ein solcher Magnet keinen Einfluss aus und dies ist auch der Grund, warum die magnetische Kraft als eine Ausnahmeeigenschaft galt, die zu den seltsamsten Deutungen und Anwendungen Anlass gab. (Siehe die Erkl. 4 u. 5.)

Erkl. 4. In früheren Zeiten, besonders im Mittelalter erzählte man sich von der Wirkung der Magnete (Magnetsteine) die wunderbarsten Märchen und schrieb denselben alle möglichen Heilkräfte zu. Man erzählte sich die Fabeln von den Magnetbergen auf Inseln, welche schon in meilenweiter Entfernung sämtliche Nägel und Eisenstücke aus den Schiffen zögen, dass sie auseinanderfallen; oder, welche die Schiffe, infolge des vielen Eisens, das sie enthalten, mit rasender Geschwindigkeit anzögen.

Man erzählte sich die Fabel von dem Sarge Muhamed's, der in Medina zwischen zwei riesigen Magneten frei schwebend in der Luft gehalten würde.

Man erzählte sich, schon zur Zeit des Thales von Milet 600 v. Chr., die Fabel von dem Schäfer Magnus, der in den Bergen Lydien's Schafe hütete und mit seinen nägelbeschlagenen Schuhen (?) an einem Eisenerz haltenden Felsen hängen blieb.

Man erzählte sich die Märchen von der Vernichtung der magnetischen Kraft durch Berührung mit einem Diamanten oder durch Bestreichung mit Knoblauchsaft u. s. f.

Man benutzte schliesslich die magnetische Kraft zu den absurdesten Heilmethoden und anderem mehr.

Erkl. 5. Die Wirkung der Magnete kannten schon die Griechen zur Zeit des Thales von Milet (600 v. Chr.) und doch blieb bis zum letzten Jahrhundert der Magnetismus ohne wissenschaftliche Bedeutung. — Im Jahre 1600 war es besonders der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, Namens *Gilbert*, der durch sein Werk: „Neue Physiologie der Magnete“ den Anstoss zu den weiteren wissenschaftlichen Forschungen gab, welche *Coulomb*, *Gauss*, *Weber*, *Faraday*, *Oersted* und Andere machten. Im Jahre 1832 erkannte man erst, dass der über die ganze Erde verbreitete Magnetismus bei der Erregung von allen Wärme-, Licht- und elektrischen Erscheinungen die wichtigste Rolle spielt und wiederum durch jene Erscheinungen erregt wird. (Siehe Kleyer's Lehrbuch des Elektromagnetismus.)

Frage 6. Welche besondere Namen führt das Eisenerz, unter welchem sich Magnetsteine vorfinden und welche Bestandteile hat dasselbe?

Antwort. Das Eisenerz, unter welchem sich Magnetsteine vorfinden, es sind nämlich nicht alle Stücke dieses Erzes Magnete, nannte man dementsprechend: Magneteisenerz oder auch Magneteisenstein, Magneteisen, Magnetit.

Das Magneteisenerz besteht seiner chemischen Zusammensetzung nach aus

Erkl. 6. Unter „Erz“ versteht man im allgemeinen die natürliche Verbindung eines Metalls mit andern Körpern, von denen es durch den Hüttenprozess befreit werden muss. — Eisenerz enthält als Metall das Eisen.

Erkl. 7. Die Magneteisenerze gehören zu den wertvollsten Eisenerzen. Sie liefern einen sehr guten Stahl und das sogenannte Stabeisen.
Magneteisenerze finden sich besonders vor in Norwegen, Schweden, Lappland, Russland (Ural), auf der Insel Elba, in Kleinasien, Indien, aber auch im Harz und Erzgebirg etc.

Erkl. 8. Verbindet sich ein Körper (Eisen) mit Sauerstoff, so nennt man den dabei stattfindenden chemischen Prozess „Oxydation“ und den mit Sauerstoff verbundenen Körper ein oxydierter Körper oder ein „Oxyd“ (Eisenoxyd).
Findet bei dieser Sauerstoffverbindung der Fall statt, dass sich der Körper (Eisen) in zwei verschiedenen Verhältnissen mit Sauerstoff vereinigt und dass sich beide Oxydationsstufen als Basen (siehe Erkl. 9) verhalten, so nennt man diejenige Oxydationsstufe, welche am meisten Sauerstoff enthält „Oxyd“ (Eisenoxyd), die andere aber, also diejenige, welche am wenigsten Sauerstoff enthält „Oxydul“ (Eisenoxydul).

Erkl. 9. „Base“ nennt man jedes Oxyd, das die Eigenschaft hat, sich mit einer Säure zu verbinden. Durch eine solche Verbindung entsteht ein Salz.

gleichen Aequivalenten Eisenoxyd und Eisenoxydul. Die chemische Bezeichnung desselben ist somit: Eisenoxyduloxyd. (Siehe die Erkl. 6—9.)

Frage 7. Was versteht man unter einem natürlichen und was unter einem künstlichen Magnet?

Erkl. 10. Auf welche leichte und einfache Weise man Magnete auf künstlichem Wege herstellen kann, wird in einem späteren Abschnitt gezeigt.

Erkl. 11. Wie später gezeigt wird, kann man mit einem Magnet tausend andere und bessere Magnete herstellen, und dies ist der Grund, warum natürliche Magnete nicht mehr gesucht werden und deshalb auch ziemlich selten geworden sind und nur noch in sogenannten „Kabinettstücken“ existieren.

Antwort. Die Magnete, welche sich als Stücke des sogenannten Magneteisenerzes vorfinden, also die Magnetsteine (auch infolge ihrer Farbe schwarze Steine genannt) werden, da sie von Natur die Eigenschaft haben, Magnete zu sein, „natürliche“ Magnete genannt und zwar im Gegensatz zu solchen, welche auf künstlichem Wege hergestellt werden können und dementsprechend „künstliche“ Magnete genannt werden. (Siehe die Erkl. 10 u. 11.)

Frage 8. Worin besteht der Unterschied zwischen den natürlichen und künstlichen Magneten?

Erkl. 12. Wie später gezeigt wird, ist auch die magnetische Beschaffenheit der künstlichen Magnete eine regelmässigere als die der natürlichen; ausserdem kann die magnetische Kraft der künstlichen Magnete höher gesteigert werden als die der natürlichen.

Antwort. Die natürlichen und die künstlichen Magnete unterscheiden sich in ihren Wirkungen durchaus nicht. Der Unterschied beider besteht darin, dass die natürlichen Magnete die unregelmässigen Formen von Steinen haben, während man den künstlichen Magneten eine beliebige, somit auch eine regelmässige Gestalt geben und dieselben in allen Grössenverhältnissen anfertigen kann, was zur Folge hat, dass das Experimentieren mit künstlichen Mag-

neten ein leichteres und sichereres als das mit natürlichen Magneten ist. Viele Experimente lassen sich nur mit künstlichen Magneten ausführen. (Siehe die Erkl. 12.)

Frage 9. Welche Grundformen gibt man gewöhnlich den künstlichen Magneten und welche besonderen Namen erhalten sie dementsprechend?

Erkl. 13. Die Stabmagnete, Magnetstäbe, siehe Figur 1, müssen überall gleich dick und gleich breit sein.

Erkl. 14. Die in Figur 2 dargestellte Hufeisenform ist eine veraltete; man verfertigt jetzt nur noch Hufeisenmagnete in der durch Figur 3 dargestellten symmetrischen Form an. Die beiden freien Teile eines Hufeisens nennt man die Schenkel, die Enden derselben die Füsse (oder früher Schuhe).

Erkl. 15. Die Hufeisen, siehe Figur 3, welche zur Herstellung der sogenannten Hufeisenmagnete benutzt werden, werden aus überall gleich dicken und breiten prismatischen Stäben, siehe Figur 1, dadurch hergestellt, dass man einen solchen Stab in seiner Mitte glühend macht und ihn daselbst so lange mit dem Hammer bearbeitet, bis er die Hufeisenform hat. Das Bearbeiten mit dem Hammer (das Schmieden) muss besonders auf der inneren Fläche der Biegung stattfinden, damit das was die innere Biegung durch Verkürzung an Masse (Dichte) mehr erhält, an die äussere Fläche der Biegung abgegeben wird.

Erkl. 16. Die durch Figur 4 dargestellte Magnetform, die sogenannte Magnetnadel, besteht aus einem dünnen Stahlblättchen, das von der Mitte nach den Enden symmetrisch ist. In der Mitte, welche durchbohrt ist, wird gewöhnlich ein Achat- oder Stahlhütchen angebracht, wie Figur 5 im Längsschnitt zeigt. Dieses Hütchen hat, wie später gezeigt wird (siehe Erkl. 34) den Zweck, die Nadel aufhängen zu können. (Siehe auch die Erkl. 17.)

Erkl. 17. Unter dem Namen „Magnetnadel" kommt auch noch eine andere Form, als die in Figur 4 dargestellte, vor. Dieselbe hat die Gestalt eines länglichen Rechtecks, siehe Figur 6, ist ebenfalls sehr dünn, in der Mitte durchbohrt und daselbst mit einem Achat- oder Stahlhütchen, zum Zwecke der Aufhängung, versehen. Diese Form wird besonders bei Messinstrumenten angewendet, da man alsdann beim Visieren mit solchen Instrumenten die Richtung nicht von Spitze zu Spitze zu nehmen braucht, sondern was vorteilhafter ist, nach den in den

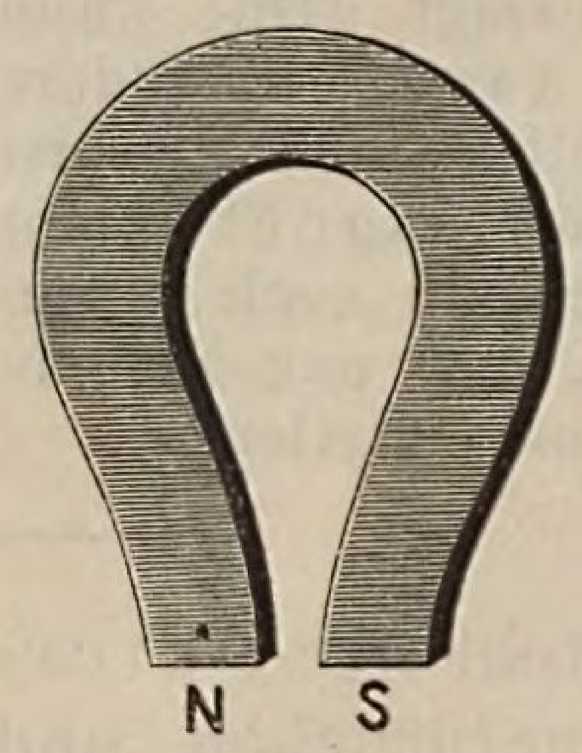
Antwort. Den künstlichen Magneten gibt man gewöhnlich, je nach den Zwecken, zu welchen man sie verwenden will, entweder die durch die Figur 1 dargestellte prismatische oder Stabform, oder man gibt ihnen die durch die Figuren 2 u. 3 dargestellte Hufeisenform, oder man gibt ihnen schliesslich, siehe Figur 4, die durch eine langgestreckte Raute dargestellte Lanzettform (oder Nadelform).

Die künstlichen Magnete erhalten dementsprechend, bezw. die Namen: Stabmagnete, Hufeisenmagnete und Magnetnadeln. (Siehe auch die Erklärungen 13—20.)

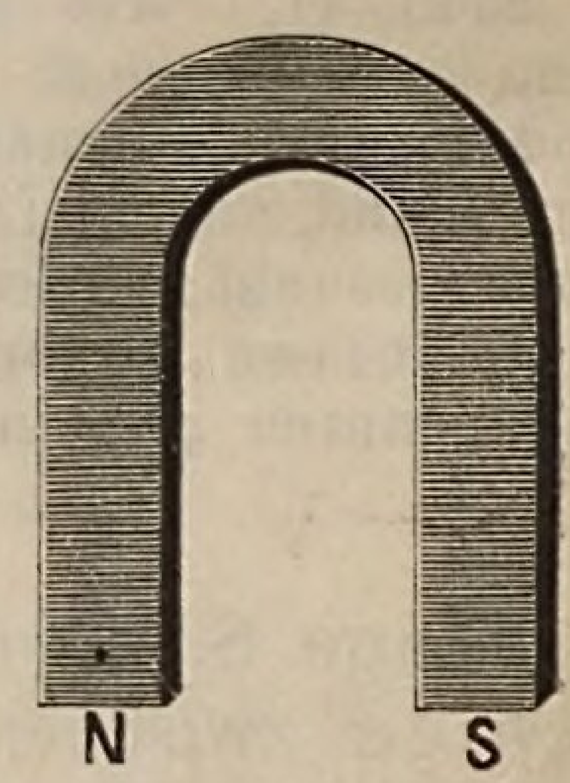
Figur 1.



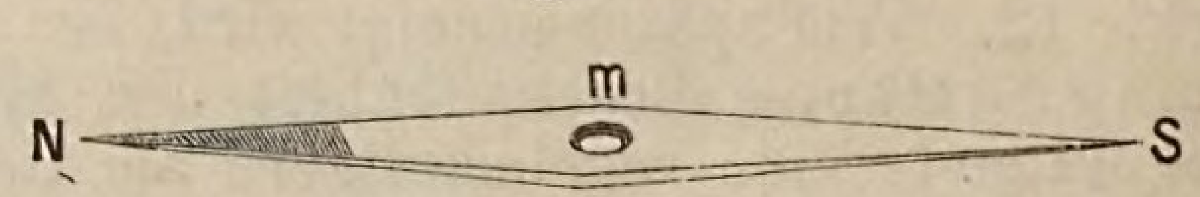
Figur 2.



Figur 3.



Figur 4.



Figur 5.



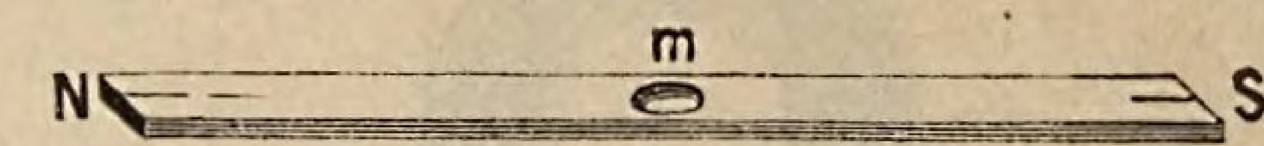
Enden der Nadel eingehauenen feinen Strichen nehmen kann. (Einige solcher Instrumente sind in einem späteren Abschnitte vorgeführt.)

Erkl. 18. Es gibt noch eine weitere besondere Art künstlicher Magnete, die sogenannten „magnetischen Magazine“. Dieselben kommen in einem spätern Abschnitt zur Sprache.

Erkl. 19. Ueber die Herstellung der verschiedenen künstlichen Magnete siehe man den Abschnitt, welcher über die Herstellung derselben handelt.

Erkl. 20. Wenn in nachstehendem von Magneten im allgemeinen die Rede ist, so kann darunter sowohl ein natürlicher als auch irgend ein künstlicher Magnet verstanden werden.

Figur 6.



II.

Ueber die magnetischen Erscheinungen.

1). Ueber die magnetische Anziehung.

Frage 10. Welche Erscheinung findet statt, wenn man ein Stückchen Eisen einem Magnet nähert und welche Folgerung ergibt sich aus jener Erscheinung?

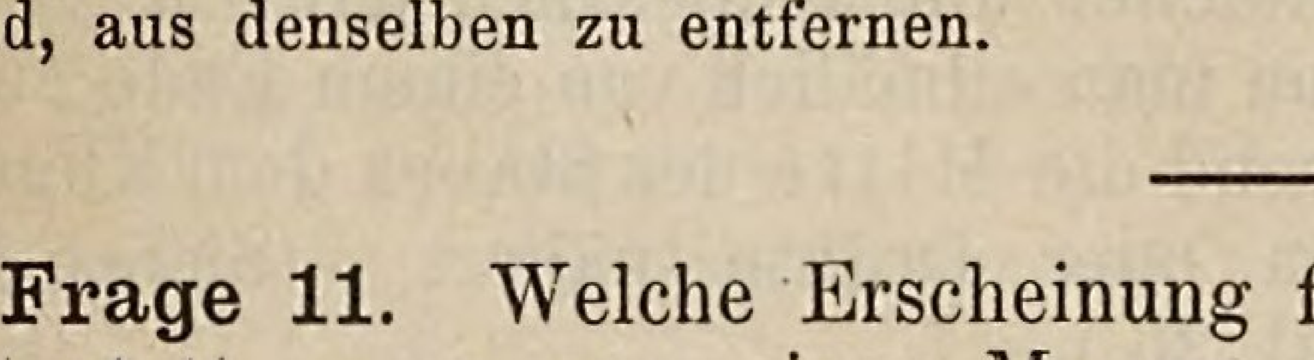
Erkl. 21. Hängt man einen Magnet an einen Faden lotrecht auf und nähert ihm einen schweren eisernen Gegenstand (z. B. einen schweren Schlüssel), so bewegt sich der Magnet gegen den Schlüssel hin.

Erkl. 22. Die Eigenschaft der Magnete, Eisen und Eisenteilchen anzuziehen, wird im praktischen Leben dazu benutzt, um Eisenteilchen, die unter andere (edlere) Metalle geraten sind, aus denselben zu entfernen.

Antwort. Nähert man ein Stückchen Eisen einem Magnet, ohne dasselbe festzuhalten, so zieht der Magnet das Eisen an und hält es fest (vorausgesetzt, dass das Stückchen Eisen nicht zu gross gewählt wurde). Da nun jede Anziehung zweier Körper bedingt, dass in jedem der Körper eine gewisse Befähigung hierzu vorhanden ist, so kann man auch sagen: das angezogene Eisen hat eine magnetische Befähigung, es zieht den Magnet an und hält ihn fest. (Siehe auch die Erkl. 21 u. 22.)

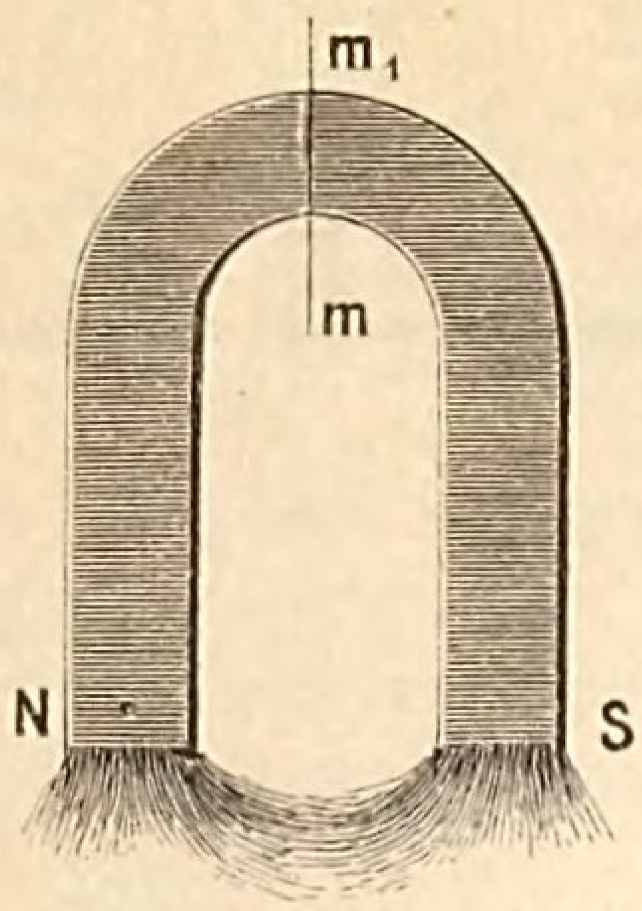
Frage 11. Welche Erscheinung findet statt, wenn man einen Magnet mit Eisenfeilspähnen überstreut, oder wenn man einen Magnet in Eisenfeilspähnen wälzt, und welche Folgerung ergibt sich aus jener Erscheinung?

Figur 7.



Antwort. Ueberstreut man einen Magnet mit Eisenfeilspähnen oder wälzt man einen Magnet in Eisenfeile, so findet die merkwürdige Erscheinung statt, dass wie in den Figuren 7 u. 8 bildlich dargestellt ist, an zwei Gegenden die Eisenfeile am dichtesten und an einer dritten Stelle gar nicht anhängt. Hier-

Figur 8.



aus ergibt sich die Folgerung, dass jeder Magnet an zwei Gegenden die stärkste und an einer dritten Gegend gar keine Anziehungskraft hat. Bei Stabmagneten und bei den Magnetnadeln befinden sich die zwei Gegenden, an welchen die Anziehungskraft am stärksten wirkt, in der Regel an den Enden, wie die Figur 7 zeigt; bei Hufeisenmagneten befinden sich diese beiden Stellen an den Füssen, wie die Figur 8 zeigt. Die Gegend, in welcher die Anziehungskraft gleich Null ist, befindet sich alsdann in der Mitte des Stabes bezw. in der Mitte des Bogens des Hufeisens. (Siehe die Erkl. 23 u. 24.)

Erkl. 23. Das hierorts erwähnte Experiment zeigt die in nebenstehender Antwort angeführte Erscheinung sehr schön, wenn man ein steifes Papier über den Magnetstab legt und Eisenfeilspähne darauf siebt. Wie später, in dem Abschnitt: „Die magnetischen Figuren" gezeigt wird, ordnen sich die Eisenfeilspähne in krummen Linien und wie nebenstehend erwähnt, in zwei Gegenden am dichtesten an.

Erkl. 24. Es gibt auch Magnete, sogenannte „anomale Magnete", in welchen sich in mehr als zwei Punkten die Eisenfeile am dichtesten anhäuft. Hierüber siehe den Abschnitt, welcher über „anomale Magnete" handelt.

Frage 12. Durch welches weitere Experiment kann man darthun, dass jeder Magnet zwei Stellen hat, an welchen die Anziehungskraft am stärksten wirkt?

Erkl. 25. Dass ein Magnet an zwei Stellen die stärkste Anziehungskraft besitzt, ergibt sich auch daraus, dass ein Eisenstück, welches von einem Ende eines Magnets getragen wird, von keiner andern Stelle desselben gehalten wird.

Antwort. Hängt man ein Eisenkügelchen oder einen Eisendraht an einem dünnen Faden auf und man bringt z. B. einen Stabmagnet mit dem einen oder dem andern Ende in die Nähe jenes Kügelchens oder Drahts, so wird das-, bezw. derselbe stark angezogen. Diese Anziehung wird stetig schwächer und schwächer und schliesslich gleich Null, wenn man allmälich von einem Ende ausgehend die Mitte des Stabes dem Kügelchen oder Drahte nähert. (Siehe die Erkl. 25.)

Frage 13. Was versteht man unter den magnetischen Polen, der magnetischen Axe und was unter der Indifferenzzone eines Magnets?

Erkl. 26. Der Grund der Bezeichnung: „Pole" für die Stelle eines Magnets, an welchen die Anziehungskraft am stärksten ist, ergibt sich aus nachfolgendem Abschnitt.

Antwort. Die zwei Punkte, an welchen die Anziehungskraft eines Magnets am stärksten wirkt, heissen die magnetischen Pole; die Verbindungslinie dieser Pole heisst die magnetische Axe, und die Stelle eines Magnets, welche sich gegen Eisen indifferent

zeigt, also solches nicht anzieht, heisst Indifferenzzone oder auch neutrale Zone des Magnets. (Siehe die Erklärungen 26—29.)

Erkl. 27. Der Grund der Bezeichnung: „magnetische Axe" für die Verbindungslinie der Pole eines Magnets ergibt sich aus den späteren Abschnitten.

Erkl. 28. Das Wort „indifferent" kommt aus dem Lateinischen und heisst gleichgültig.

Erkl. 29. Bei den Magnetnadeln, siehe Figur 4, liegen die Pole meist ganz genau in den Spitzen *N* und *S*, infolge dessen fällt die sogenannte magnetische Axe ziemlich genau mit der Verbindungslinie der beiden Spitzen *N* und *S* zusammen. Die Indifferenzzone fällt in die Mitte. Was, wie sich aus Späterem ergibt, Gründe genug sind, um diese Form eines Magnets als die zu Beobachtungen geeignetste anzuerkennen.

Frage 14. Macht sich die anziehende Kraft eines Magnets auch auf andere Körper als Eisen geltend?

Antwort. Die magnetische Kraft eines Magnets macht sich nicht allein auf Eisen, sondern auch auf die meisten Körper und selbst auf Flüssigkeiten und Gase geltend, jedoch in bedeutend schwächerem Masse als auf Eisen und es bedarf schon sehr starker Magnete, um eine Wirkung zu erkennen.

In der Natur gibt es keinen Ausnahmefall, wohl aber einen steten Uebergang von dem einen zu dem andern, und so auch in der Wirkung des Magnetismus.

Es gibt, wie die Untersuchung lehrt, Körper, auf welche der Magnet stark anziehend wirkt, wie auf Stahl und Eisen; es gibt Körper, auf welche der Magnet nur schwach anziehend wirkt, wie auf Nickel und Kobalt; es gibt Körper, auf welche der Magnet nur sehr schwach anziehend wirkt, wie auf Chrom und Mangan; es gibt schliesslich Körper, auf welche der Magnet eine entgegengesetzte Wirkung ausübt, nämlich abstossend wirkt, wie auf Wismut u. A. (Siehe die Erkl. 30 u. 31.)

Erkl. 30. Die Untersuchungen der magnetischen Befähigung anderer Körper als Eisen kann nur mit sehr starken, mit sogenannten „Elektromagneten" ausgeführt werden, sie gehören deshalb zu den Lehren des Elektromagnetismus und sind in einem dem Dr. Kleyer'schen Lehrbuch des Elektromagnetismus beigegebenen Supplement: „Der Diamagnetismus" erläutert.

(Siehe auch die Antwort der Frage 15.)

Erkl. 31. Nickel, Kobalt, Chrom, Mangan und Wismut sind Metalle. Das Nickel wurde 1751 von *Cronstedt*, das Kobalt 1733 von *Georg Brandt*, das Chrom 1797 von *Vauquelin*, das Mangan 1807 von *John* und das Wismut 1739 von *Pott* entdeckt.

Frage 15. Was versteht man unter den paramagnetischen und was unter den diamagnetischen Körpern?

Antwort. Diejenigen Körper, auf welche der Magnet anziehend wirkt, nennt man paramagnetische Körper und zwar im Gegensatz zu denjenigen Körpern, auf welche der Magnet abstossend wirkt (wie auf Wismut) und

Erkl. 32. Zu den paramagnetischen, bezw. zu den magnetischen Körpern gehören unter andern: Eisen, Nickel, Kobalt, Platin, Palladium, Titan, Mangan, Chrom, Cerium, Osmium; die Verbindungen des Eisens (ausser Ferrocyankalium), des Nickels und Kobalts, Pa-

pier, Porzellan, Flussspat, Turmalin, Tusche, Sauerstoff etc.

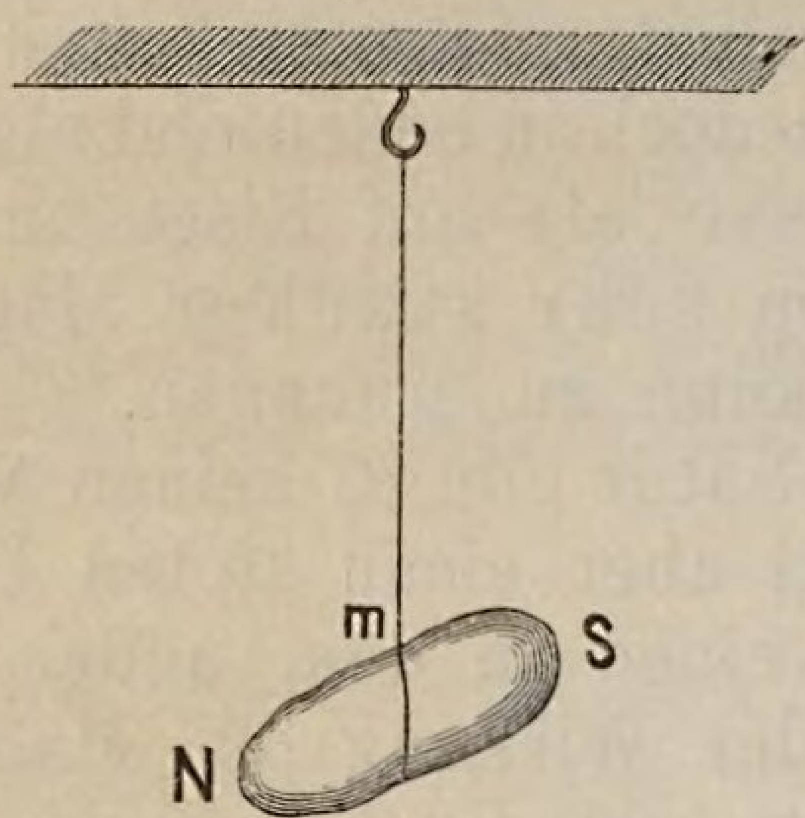
Zu den diamagnetischen Körpern gehören unter andern: Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Cadmium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram, Phosphor, Schwefel, Tellur, Jod, Eis, *Faraday's* Flintglas, Fett, Fleisch, Holz, Elfenbein, Leder, Alkohol, Aether, Blut, Milch, fast alle Gase und die Flammen etc.

diamagnetische Körper genannt werden. (Siehe die Erkl. 32.)

2). Ueber die Benennung u. Bezeichnung der Pole eines Magnets. (Magnetische Direktionskraft.)

Frage 16. Welche Erscheinung findet statt, wenn man einen Magnet in seinem Schwerpunkt frei aufhängt?

Figur 9.



Erkl. 33. Unter dem Schwerpunkt eines Körpers versteht man im allgemeinen den Punkt, welcher die Eigenschaft hat, dass wenn der Körper in diesem Punkte unterstützt wird, der Körper eine Gleichgewichtslage annimmt.

Umgekehrt kann man auch sagen: Ein Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn sein Schwerpunkt unterstützt wird.

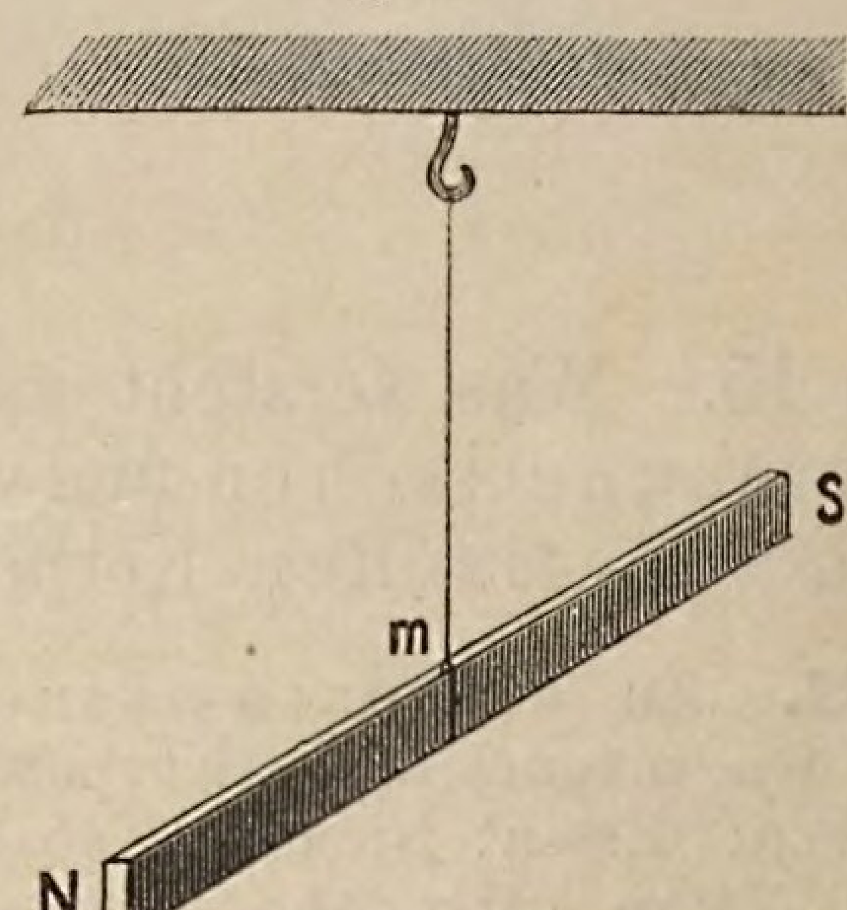
Erkl. 34. Die in vorstehender Erkl. gegebene Gleichgewichtsbedingung kann auf zwei Arten erfüllt werden, entweder indem man den betreffenden Körper in einem festen Punkte aufhängt, oder auf einer Unterlagsfläche ruhen lässt.

Erkl. 35. Ein in einem festen Punkte aufgehängter Körper ist nur dann im Gleichgewicht, wenn jener Punkt mit dem Schwerpunkt des Körpers in einer lotrechten Linie liegt.

Man unterscheidet je nach der Lage, welche Aufhängepunkt und Schwerpunkt zu einander haben können, drei Gleichgewichtsarten, nämlich das indifferente, das stabile und das labile Gleichgewicht. Siehe Dr. Kleyer's Lehrbuch der Mechanik.

Antwort. Wird ein Magnet, sei es ein natürlicher Magnet, siehe Figur 9, sei es ein Magnetstab, siehe Figur 10, oder sei es eine Magnetnadel, siehe Figur 11, in seinem Schwerpunkt frei aufgehängt, so nimmt er wie diese Figuren zeigen, **nicht** die infolge der Art der Aufhängung durch die Schwerkraft bedingte stabile Gleichgewichtslage an, wie es jeder andre nicht magnetische Körper (siehe Figur 12) thun würde, sondern er nimmt eine andre aber **ganz bestimmte** Stellung ein, in welche er, herausgebracht, unter Oszillationen (Schwingungen) stets wieder zurückkehrt. Hierbei muss aber vorausgesetzt werden, dass der Magnet nicht durch in der Nähe befindliches Eisen, bezw. durch einen andern in der Nähe befindlichen Magnet beeinflusst wird. (Siehe die Erkl. 33—39.)

Figur 10.



Erkl. 36. Bei dem Aufhängen der Magnete wird nur Rücksicht genommen auf das stabile Gleichgewicht, welches dieselben annehmen können. Stabiles Gleichgewicht findet statt, wenn der Schwerpunkt unter den Aufhängepunkt zu liegen kommt, siehe Figur 12.

Wird bei dieser Art der Aufhängung eines Körpers (nicht eines Magnets) derselbe aus seiner Gleichgewichtslage gebracht, so führt die Schwerkraft den Körper stets wieder in seine Gleichgewichtslage zurük, daher auch der Name „festes“ oder „stabiles“ Gleichgewicht.

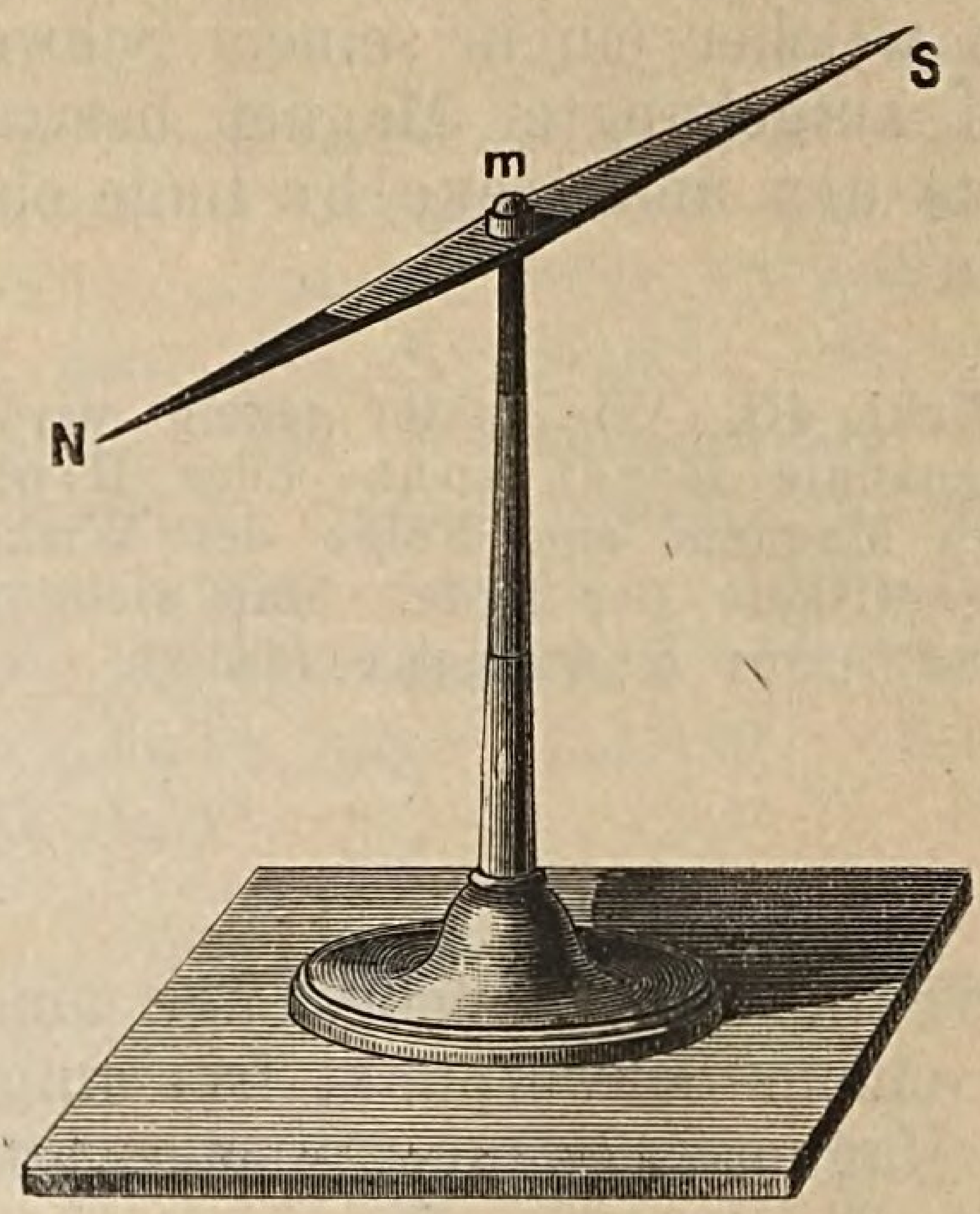
Erkl. 37. Wird ein Magnet, behufs der Untersuchung der Lage, die er annimmt, sobald er in Ruhe kommt, an einen Faden aufgehängt, wie es die Figuren 9 und 10 zeigen, so muss der Faden ein „ungedrehter“ seidener Faden sein.

Erkl. 38. Die Magnetnadel *SN*, siehe Figur 11, wird mit ihrem Hütchen *m*, welches aus Achat oder Stahl angefertigt wird, damit die Reibung eine möglichst geringe ist, auf eine am Kopfe des Stativs angebrachte Stahlspitze aufgesetzt (aufgehängt), was zur Folge hat, dass der Schwerpunkt der Nadel unter den Aufhängepunkt (Unterstützungspunkt) zu liegen kommt, wodurch die Nadel, wenn sie nicht magnetisch wäre, ihrem stabilen Gleichgewicht folgen und jede horizontale Lage annehmen könnte.

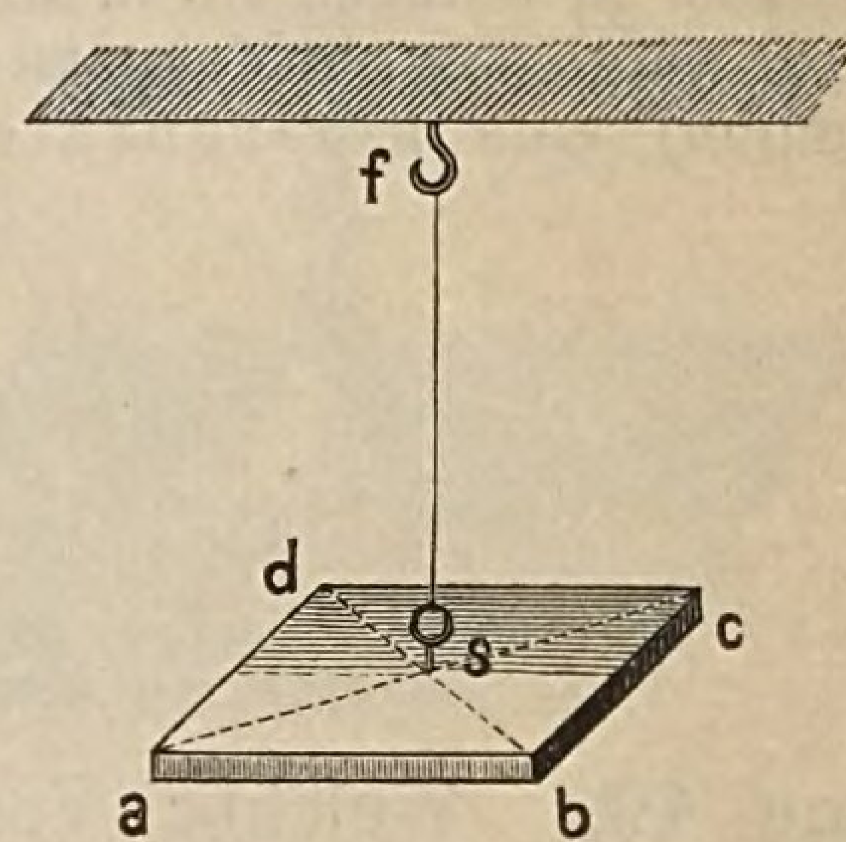
Eine weitere vorteilhaftere Art eine Magnetnadel so aufzuhängen, dass sie ihrem stabilen Gleichgewicht folgend jede horizontale Lage annehmen kann, beruht darin, dass wie Figur 13 in der Ansicht und Figur 14 im Durchschnitt zeigt, in der durchbohrten Mitte der Nadel *SN* eine Messinghülse *ab* eingesetzt wird, welche am oberen Teile *b* eine mit einer Stahlspitze versehene Schraube *c* enthält. Diese Nadel wird, wie aus Figur 14 ersichtlich ist, auf das Messingsäulchen *fg*, an dessen Kopf (damit die Reibung eine möglichst geringe ist) ein Achat- oder Stahlblättchen eingelegt ist, gesetzt. Bei dieser Aufhängeart kommt der Schwerpunkt der Nadel (d. i. die Mitte derselben) noch weiter unter den Aufhängepunkt zu liegen.

Erkl. 39. Wie in dem Abschnitt „Der Erdmagnetismus“ gezeigt wird, gibt es auch Orte auf der Erde, in welchen die Lage eines frei aufgehängten Magnets mit der Lage des stabilen Gleichgewichts zusammenfällt.

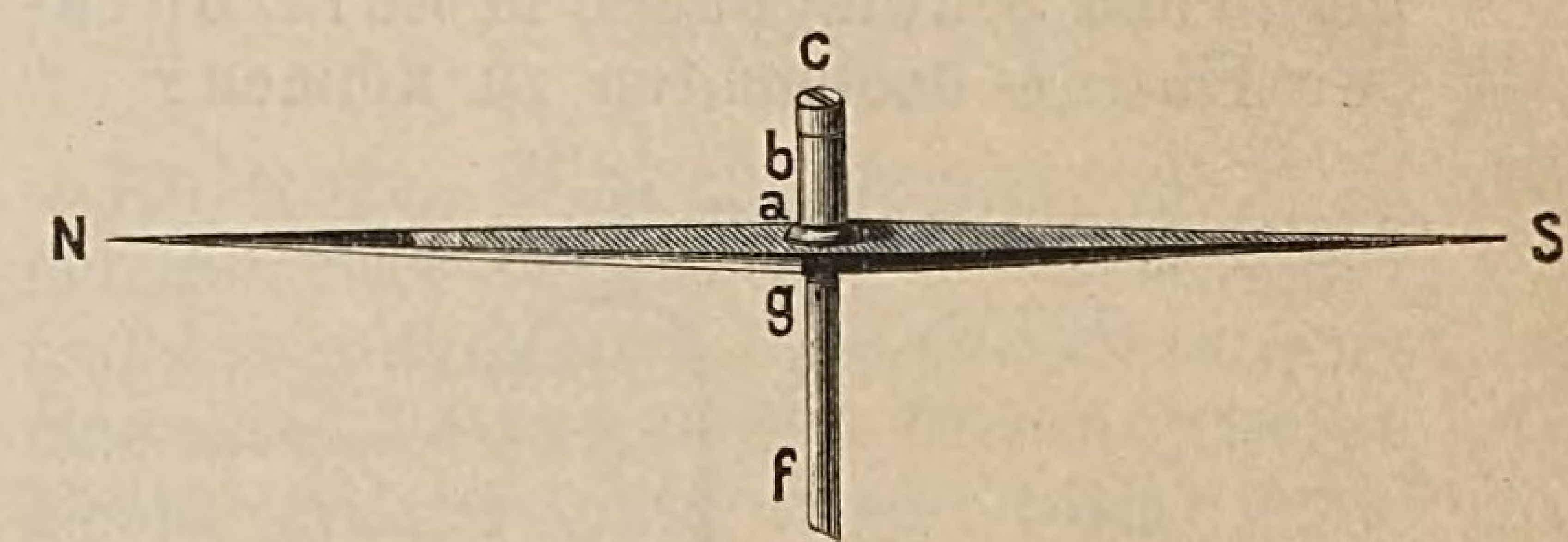
Figur 11.



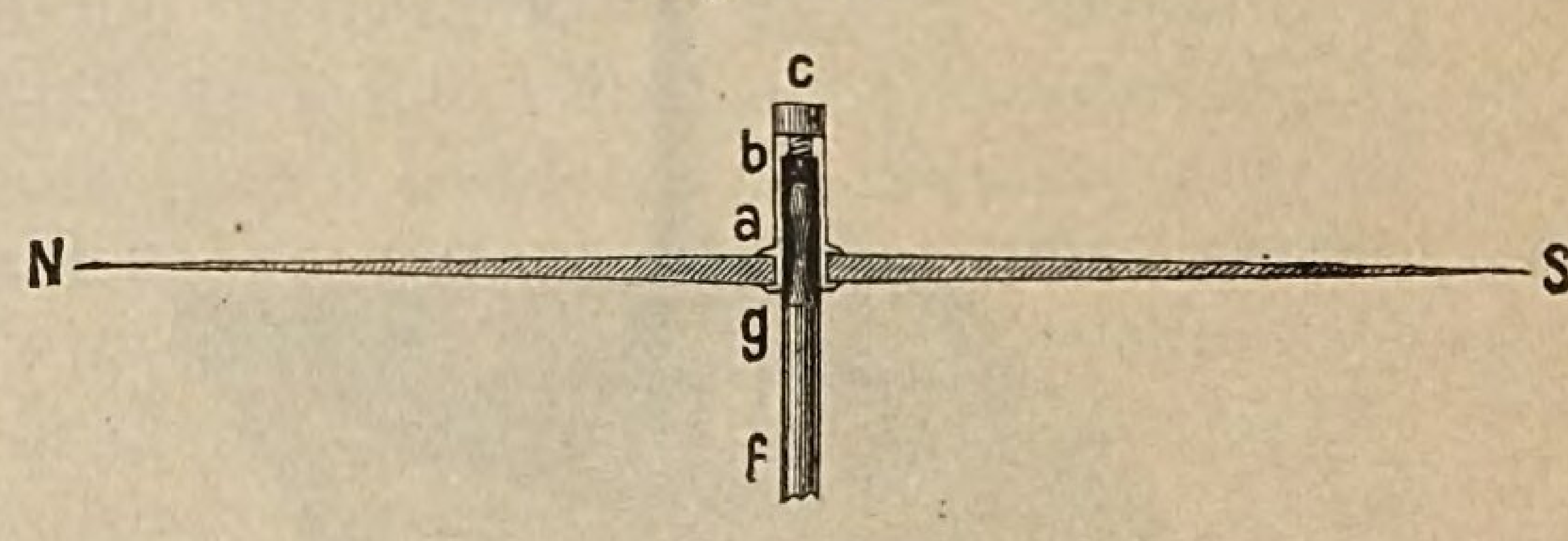
Figur 12.



Figur 13.



Figur 14.



Frage 17. Wie nennt man die Kraft, mit welcher ein in seinem Schwerpunkt frei aufgehängter Magnet bestrebt ist, stets ein und dieselbe Lage einzunehmen?

Erkl. 40. Wie später gezeigt wird, ist die sogenannte Direktions- oder Richtkraft eines Magnets eine Folge der Wirkung des Magnetismus der Erde. Man siehe den Abschnitt: Der Erdmagnetismus.

Antwort. Wird ein, frei in seinem Schwerpunkt aufgehängter Magnet (siehe die Figuren 9—11) aus seiner ruhenden Lage herausgebracht, so nennt man die Kraft, vermöge welcher er nach einer Anzahl von Schwingungen stets bestrebt ist, seine ursprüngliche Lage wieder einzunehmen, die Direktions- oder Richtkraft des Magnets. (Siehe die Erkl. 40.)

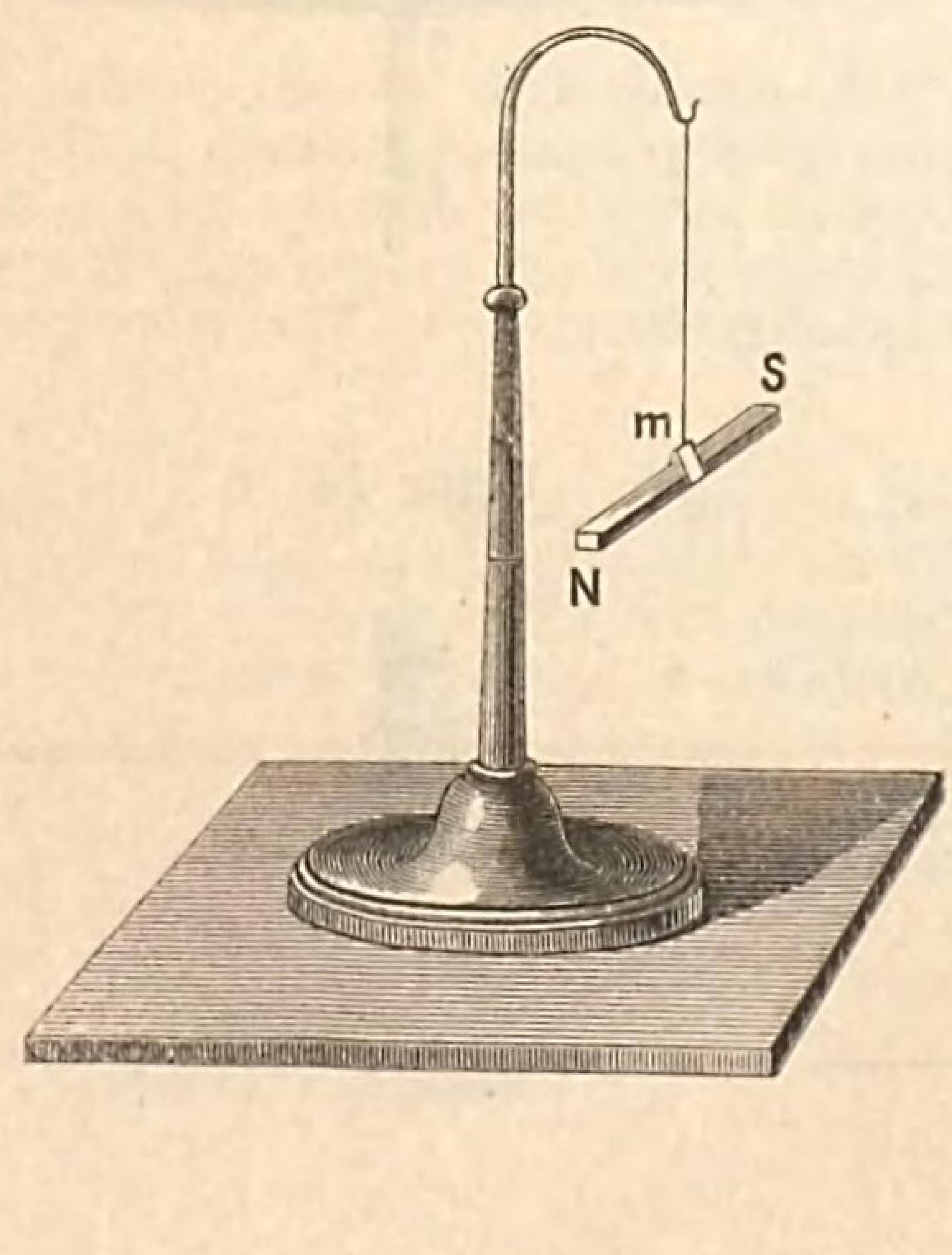
Frage 18. Welche Lage nimmt ein in seinem Schwerpunkt frei aufgehängter Magnet in Bezug auf eine horizontale Ebene an?

Erkl. 41. Wie in dem Abschnitt „Der Erdmagnetismus“ gezeigt wird, gibt es auch Orte auf der Erde, in welchen ein in seinem Schwerpunkt frei aufgehängter Magnetstab (oder eine Magnetnadel) eine horizontale Lage annimmt.

Antwort. Jeder in seinem Schwerpunkt frei aufgehängte homogene Körper, der die Form einer überall gleichdicken Scheibe hat, nimmt, wie die Figur 12 zeigt, infolge seines stabilen Gleichgewichts eine horizontale Lage an. Anders verhält es sich mit einem Magnet, der in ähnlicher Weise beschaffen ist, denn er nimmt, infolge seiner Direktionskraft eine gegen eine horizontale Ebene schiefe Lage an. (Siehe die Erkl. 41.)

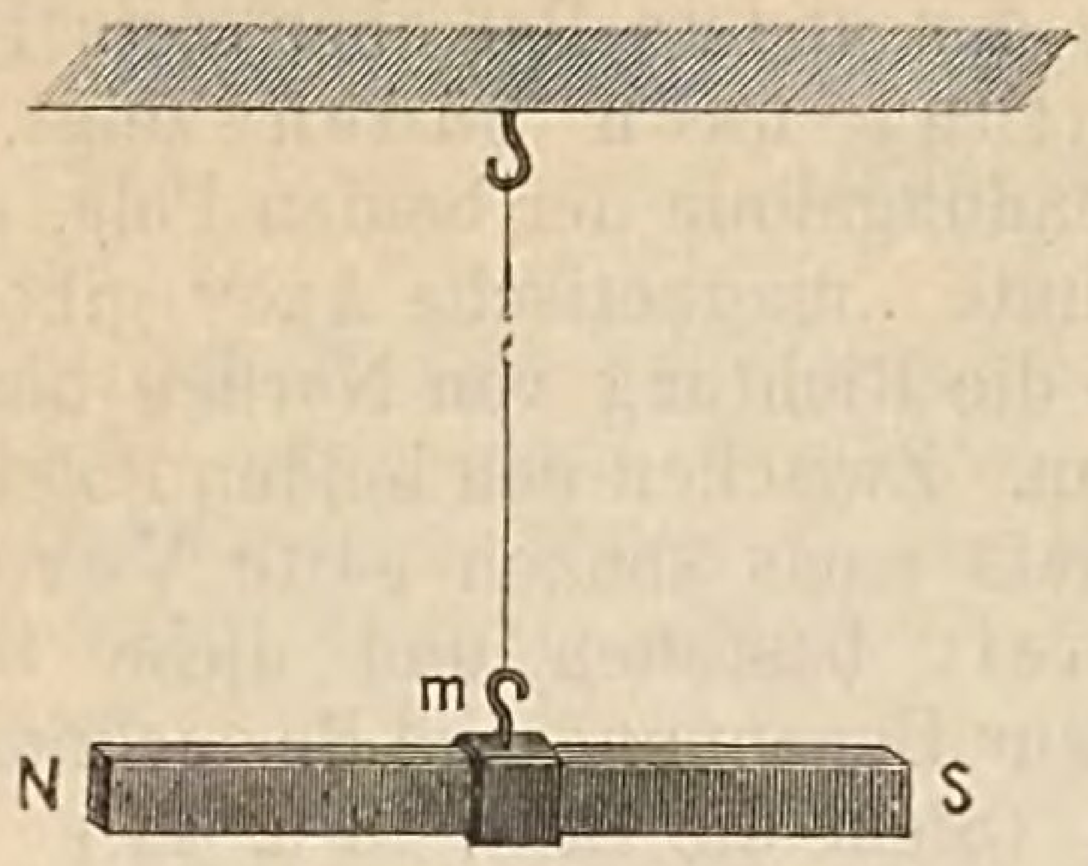
Frage 19. Welcher Vorrichtungen bedient man sich gewöhnlich, um die bei einem aufgehängten Magnet durch die magnetische Direktionskraft hervorgerufenen Schwingungen in horizontaler Ebene beobachten zu können?

Figur 15.



Antwort. Um die bei einem aufgehängten Magnet durch die magnetische Direktionskraft hervorgerufenen Schwingungen in horizontaler Ebene beobachten zu können, muss man den Magnet so aufhängen, dass er sich um die durch seinen Aufhängepunkt gehende lotrechte Linie, als Drehaxe, in horizontaler Ebene dreht. Dies wird bei einem Magnet dadurch erreicht, dass man, wie in den Figuren 15 und 16 gezeigt ist, eine Hülse von Papier (Figur 15) oder von Metall (Figur 16) an einem ungedrehten Faden befestigt und aufhängt, in jene Hülse den Magnetstab so legt, dass er eine horizontale Lage annimmt. Bei einer aufgehängten Magnetnadel wird dies dadurch erreicht, dass man die Nadel, wie in der Erkl. 38 an-

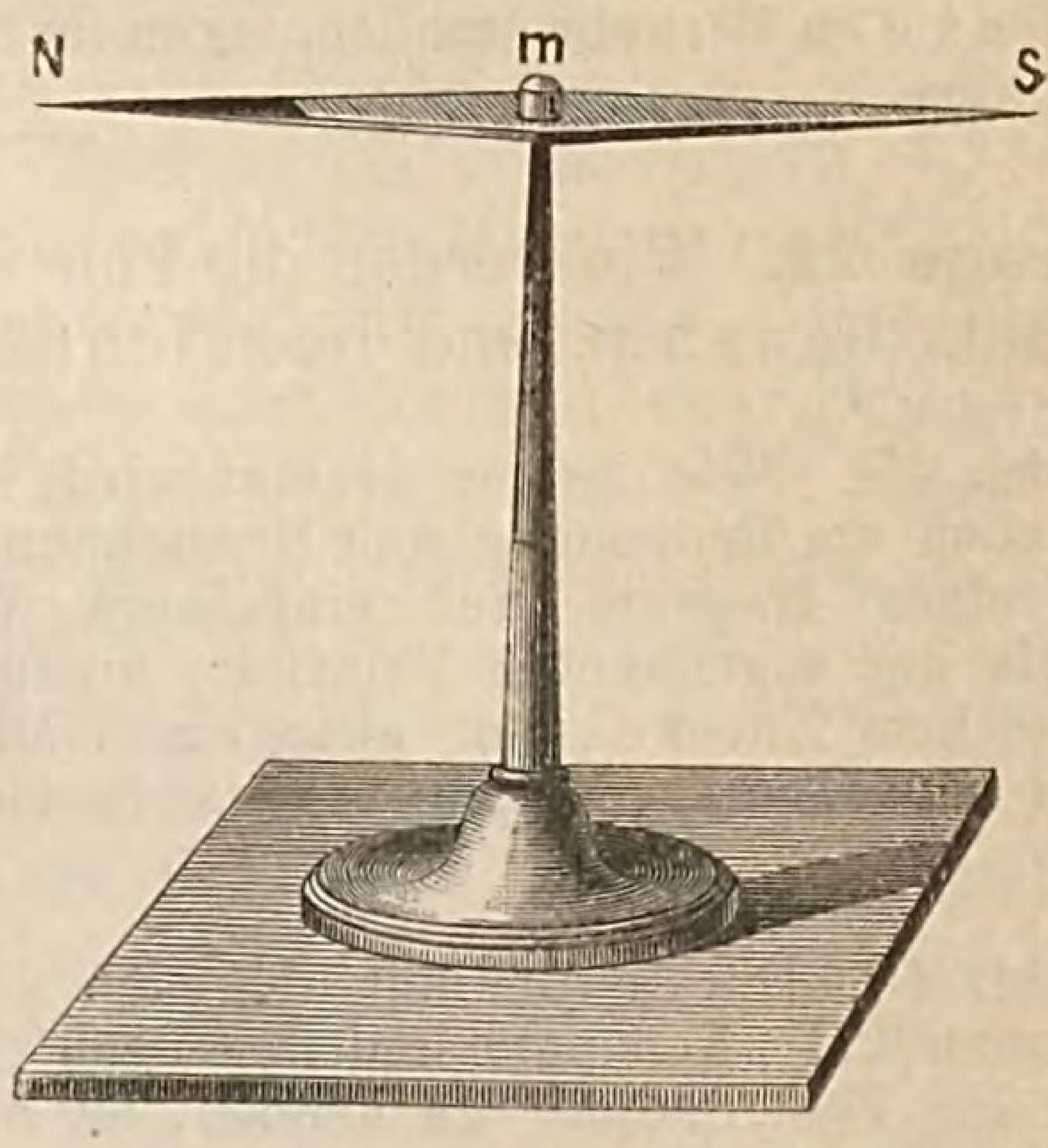
Figur 16.



Erkl. 42. Eine Magnetnadel, die so beschaffen und so aufgehängt ist, dass sie sich nur um eine vertikale Axe in horizontaler Ebene drehen kann, nennt man aus den in dem Kapitel „Der Erdmagnetismus" angeführten Gründen eine „Deklinationsnadel".

gegeben ist, auf eine Stahlspitze setzt und an der untern Fläche desjenigen Teils der Nadel, der sich tiefer stellt, so viel wegfeilt, bis die Nadel eine horizontale Lage einnimmt, oder auch indem man an dem Teil der Nadel, der sich höher stellt, ein Wachskügelchen befestigt, welches man so gross zu machen hat, dass infolge der Schwerkraft desselben die Nadel, wie Figur 17 zeigt, eine horizontale Lage annimmt. (Siehe die Erkl. 42.)

Figur 17.



Frage 20. Welche Erscheinung findet statt, wenn man einen Magnet so aufhängt, dass die infolge der magnetischen Direktionskraft hervorgerufenen Schwingungen nur in horizontaler Ebene stattfinden können?

Antwort. Wird ein Magnet, ein Magnetstab oder besser noch eine Magnetnadel so aufgehängt, dass er sich nur um eine vertikale Axe, also in horizontaler Ebene drehen muss (siehe vorige Antwort), so nimmt er, vorausgesetzt, dass er nicht durch in der Nähe befindliches Eisen, bezw. durch einen andern in der Nähe befindlichen Magnet beeinflusst wird, an jedem Punkte der Erdoberfläche eine ganz bestimmte Stellung ein, in welche er, herausgebracht, unter Oszillationen (Schwingungen) stets wieder zurückkehrt. Hierbei kann man die merkwürdige Wahrnehmung machen, dass in Bezug auf die Weltgegenden der eine, und zwar immer derselbe,

Erkl. 43. Auf der Eigenschaft der Magnetnadeln (Magnete), dass dieselben stets die Richtung von Norden nach Süden angeben, beruht die Einrichtung und der Gebrauch des Kompasses. Näheres über den Kompass findet man in dem Abschnitt: „Der Erdmagnetismus".

Erkl. 44. Wer die „Nord- und Südweisung" eines Magnets zuerst entdeckte, das ist unbekannt. Eine alte irländische Chronik aus dem Jahr 800 erzählt schon von dem „Leidarstein" nach welchem die Schiffe sich richten.

Guyot de Provins erzählt 1181 von einem schwarzen, unscheinbaren Stein, der sich nach dem Polarstern richtet und welchen die Schiffe zum Steuern benutzen.

Die Chinesen sind unzweifelhaft die ersten, welchen die „Nord- und Südweisung" der

Magnet bekannt war. Sie kannten diese Eigenschaft der Magnete schon tausend und mehr Jahre vor Christi Geburt, indem der chinesische Geschichtschreiber Schumatsian im Jahre 180 v. Christus erzählt, dass vor 920 Jahren (also im Jahre 1100 v. Chr.) von Tonkin und Cochinchina Gesandte an den chinesischen Kaiserhof gekommen waren, welchen der Kaiser sogenannte „Tschinan-kin“, das sind mit Federn bekleidete Figuren, von welchen jede mit einem beweglichen Arm, einem Magnet, versehen war, der beständig nach Süden zeigte, mitgab, damit sie ihren Weg nicht verfehlten.

Die Chinesen nannten die Magnetnadeln „Tschinantschin“, d. i. die Nadel die nach Süden zeigt. Diese Benennung ist eine ganz natürliche, denn die Länder mit denen die Chinesen Handelsbeziehungen hatten und mit welchen sie im Verkehr standen, lagen im Süden von China.

Pol stets in der Richtung nach Norden, der andere Pol aber stets in der Richtung nach Süden zeigt. Die Verbindungslinie der beiden Pole, die sogenannte „magnetische Axe“ gibt somit stets die Richtung von Norden nach Süden an. Zwischen den beiden Polen eines Magnets muss sonach eine Verschiedenheit bestehen und diese benutzt man zur Benennung und Bezeichnung der Pole. (Siehe die Erkl. 43 u. 44.)

Frage 21. Wie werden die Pole eines Magnets benannt und bezeichnet?

Erkl. 45. Wie später gezeigt wird, kann man auch die Benennung und Bezeichnung der Pole eines Magnets auf einfachere Weise (mittels der sogenannten Polarität) ausführen, zu welchem Zwecke man aber einen Magnet haben muss, dessen Pole bereits bezeichnet sind.

Erkl. 46. Die Gewohnheit den nach Norden zeigenden Pol „Nordpol“ und den nach Süden zeigenden Pol „Südpol“ zu nennen, ist besonders den Deutschen eigen. Diese Benennung ist, wie sich aus dem Abschnitt: „Der Erdmagnetismus“ ergibt, eigentlich eine falsche. Die Franzosen z. B. benennen die Polc gerade in umgekehrter Weise, nämlich den nach Norden zeigenden Pol nennen sie „Südpol“ und den nach Süden zeigenden den „Nordpol“ was, wie sich später ergibt, richtiger ist.

Erkl. 47. In dem Abschnitt, welcher über „Das Magnetisieren“ handelt wird gezeigt, dass die magnetische Kraft eines sogenannten gestrichenen Magnets nur auf der Oberfläche desselben vorhanden ist und deshalb die Oberfläche eines Magnets nur so wenig wie möglich unterbrochen werden darf. Dies sind Gründe, warum das Einhauen von Buchstaben wie *N* und *S* vermieden wird.

Antwort. Zur Benennung und Bezeichnung der Pole eines Magnets hängt man denselben, wie in Antwort der Frage 19 gezeigt ist, auf und bezeichnet, nachdem der Magnet zur Ruhe gekommen ist, den Pol, der nach Norden zeigt, mit dem Namen „Nordpol“ und den Pol, der nach Süden zeigt, mit dem Namen „Südpol“. Dieser Benennung entsprechend ist auch die Bezeichnung, indem man den Nordpol mit dem Buchstaben „N“, den Südpol mit dem Buchstaben „S“ bezeichnet. Auf den Magneten selbst werden diese Buchstaben meist nicht angebracht, um nicht die Oberfläche des Magnets zu sehr zu unterbrechen. Die Bezeichnung der Pole auf den Magneten geschieht meist dadurch, dass man an dem Nordpol einen Punkt (seltener einen Strich) mit einem sogenannten Körner einhaut, den Südpol gar nicht bezeichnet. (Siehe die Erkl. 45—47.)

Die Pole einer Magnetnadel werden gewöhnlich dadurch bezeichnet, dass man die Nadel federblau anlaufen lässt und dann mittels schwach angesäuerten Wassers diese blaue Farbe von der einen Hälfte, gewöhnlich von der Südhälfte wegwischt. Bei sorgfältiger Behandlung braucht die Politur der Nadel nicht im mindesten darunter zu leiden.

3). Ueber die Anziehung u. Abstossung der Pole zweier Magnete. (Gesetz der Polarität.)

Frage 22. Welche Erscheinungen finden statt, wenn man dem Pol eines frei aufgehängten Magnets einen Pol eines andern Magnets nähert?

Erkl. 48. Zu Untersuchungen und zum Experimentieren benützt man meistens eine solche Magnetnadel, die auf einem Stativchen, wie die Figuren 11 u. 17 zeigen, aufgehängt ist.

Ein derartiges Instrument bezeichnet man deshalb auch mit dem Namen „Probiernadel“.

Antwort. Hat man an einem frei aufgehängten Magnetstab, z. B. an einer Magnetnadel, einer sogenannten Probiernadel, und an einem andern Magnet die Pole aufgesucht und bezeichnet und man bringt in die Nähe des Nordpols der Magnetnadel den Südpol des Magnets, so zeigt sich zwischen beiden eine starke Anziehung; dasselbe findet statt, wenn man in die Nähe des Südpols der Magnetnadel den Nordpol jenes Magnets bringt. Bringt man hingegen den Nordpol des Magnets in die Nähe des Nordpols der Magnetnadel, so weicht letzterer zurück, d. h. es findet eine Abstossung zwischen diesen Polen statt; ganz dasselbe ergibt sich, wenn man dem Südpol der Magnetnadel den Südpol des Magnets nähert. Hieraus ergibt sich, dass die Pole eines Magnets ausser dem entgegengesetzten Verhalten in bezug auf die Himmelsgegenden noch ein anderes entgegengesetztes (polares) Verhalten, nämlich in bezug auf die Pole eines andern Magnets haben. (Siehe die Erkl. 48.)

Frage 23. Wie wird das Gesetz der gegenseitigen Anziehung und Abstossung der Pole zweier Magnete ausgesprochen und benannt?

Erkl. 49. Das Gesetz der Polarität wurde im Jahre 1543 von *Georg Hartmann,* Vikar zu St. Sebald in Nürnberg, entdeckt.

Erkl. 50. Da, wie später gezeigt wird, die Wirkung der Pole eines Magnets nur die Wirkung zweier verschiedenen Magnetismen ist, so spricht man das Gesetz der Polarität allgemein auch wie folgt aus:

„Gleichartige Magnetismen stossen sich ab, ungleichartige Magnetismen ziehen sich an.“

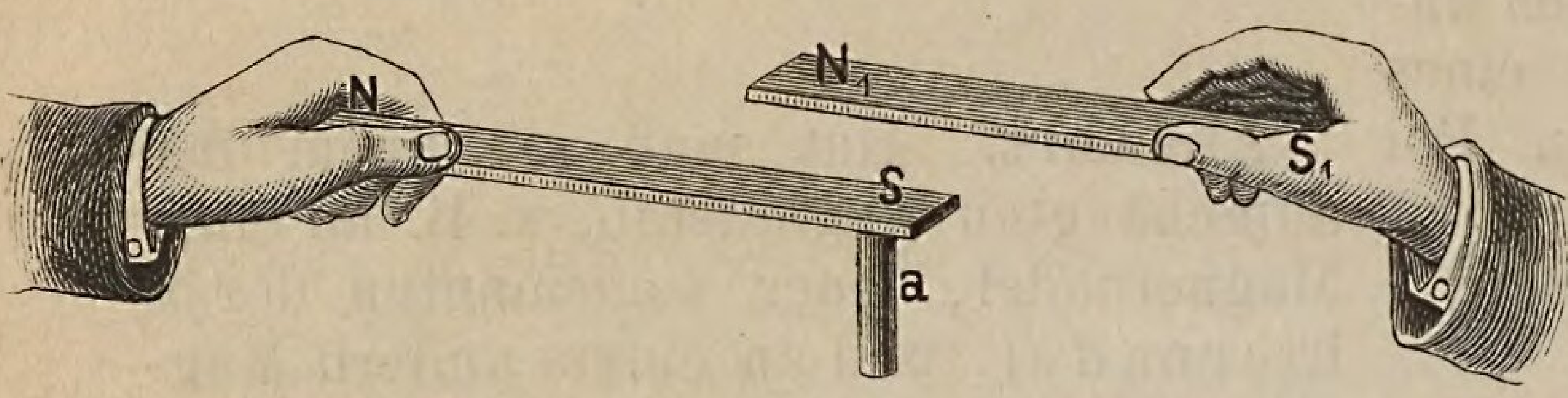
Antwort. Das Gesetz der gegenseitigen Anziehung und Abstossung der Pole zweier Magnete wird wie folgt ausgesprochen:

„Gleichnamige Pole stossen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an,“

und mit dem Namen: „Das Gesetz der Polarität“ bezeichnet. (Siehe die Erklärungen 49 u. 50.)

Frage 24. Mittels welchen weiteren Experiments kann man das Gesetz der Polarität auch erkennen?

Figur 18.



Erkl. 51. Ein weiteres Experiment, das entgegengesetzte, polare Verhalten der Pole von Magneten zu erkennen beruht darin, wenn man zwei gleichgrosse, glatt polierte Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen aufeinander legt: der obere Magnetstab wird das Bestreben zeigen, sich horizontal zu drehen, dass sein Nordpol auf den Südpol des andern Magnets zu liegen kommt.

Antwort. Das entgegengesetzte Verhalten der Pole von Magneten kann man auch auf folgende Weise erkennen: Ist, siehe Figur 18, *NS* ein horizontal gehaltener Magnet und *a* ein von einem Pole desselben, z. B. von dessen Südpol angezogenes und getragenes Eisenstückchen, welches man so schwer zu wählen hat, als es der Pol tragen kann, so wird dieses Eisenstückchen abfallen, sobald man jenem Südpol *S* von oben oder von der Seite her den Nordpol N_1 (nämlich den ungleichnamigen Pol) eines andern Magnets nähert. (Siehe die Erklärung 51.)

Frage 25. Wie werden die Pole infolge ihrer gegenseitigen Anziehung und Abstossung auch ferner noch benannt?

Antwort. Die Pole, welche sich gegenseitig abstossen, also die gleichnamigen, nennt man feindliche Pole und die Pole, welche sich gegenseitig anziehen, also die ungleichnamigen, nennt man freundliche Pole.

Frage 26. Wozu wird die gegenseitige Anziehung und Abstossung der Pole zweier Magnete zunächst benutzt?

Erkl. 52. Magnetische Spielwerke, welche auf dem Gesetz der Polarität beruhen, sind z. B. die magnetischen Schwäne und Fische, welche einen kleinen Magnet im Munde tragen und durch eine magnetische Angel angezogen und abgestossen werden.

Erkl. 53. Nähert man einen Körper einer Probiernadel, so ist entweder keine Wirkung an der Nadel sichtbar, oder jedes Ende der Nadel wird angezogen, oder auch das eine Nadelende wird angezogen und das andere abgestossen.

Im ersten Falle ist der betreffende Körper ein solcher, welcher keine magnetische Befähigung hat, er enthält also vor allem auch Eisen.

Im zweiten Falle hat der Körper eine magnetische Befähigung, besteht also aus Eisen, oder enthält Eisen. Im dritten Falle endlich ist der Körper selbst ein Magnet.

Erkl. 54. Man nennt auch die Körper, welche von beiden Polen eines Magnets an-

Antwort. Die Anziehung und Abstossung der Pole zweier Magnete benutzt man, wie schon in der Erkl. 45 erwähnt, zur Untersuchung, an welcher Stelle eines Magnets der Nord- oder Südpol liegt, da man weiss, dass z. B. der Nordpol eines Magnets an der Stelle sich befindet, welche den Nordpol einer Probiernadel abstösst. Ferner benutzt man dieselben zu Spielwerken, zur Untersuchung, ob ein Stück Eisen ein Magnet ist oder nicht u. a. m. (Siehe die Erklärungen 52—54.)

gezogen werden „einfach magnetische oder retractorische Körper“, und zwar im Gegensatz zu denjenigen Körpern, welche von einem Pol eines Magnets angezogen, vom andern aber abgestossen werden und „polarmagnetische oder attractorische Körper“ genannt werden.

4). Ueber die entgegengesetzten Magnetismen.

Frage 27. Findet die gegenseitige Anziehung und Abstossung von Magneten nur an den Polen statt?

Antwort. Nähert man den einen Pol einer Probiernadel dem gleichnamigen Pol eines aufgehängten Magnetstabs, so findet eine Zurückweichung, eine Abstossung jenes Pols der Probiernadel statt. Diese Abstossung findet auch statt, wenn man jenen Pol der Probiernadel einer Stelle des Magnetstabs nähert, die zwischen jenem gleichnamigen Pole und der Indifferenzzone des Magnetstabs liegt. Die somit beobachtete Abstossung wird, je mehr man sich der Indifferenzzone nähert, schwächer und in der Indifferenzzone selbst gleich Null. An jedem Punkt des Magnetstabes, welcher zwischen der Indifferenzzone und dem andern Pole des Stabes liegt, geht diese Abstossung in eine Anziehung über. Somit ergibt sich, dass nicht allein an den Polen, sondern auch an jeder andern Stelle, ausgenommen der Indifferenzzone, Anziehungen und Abstossungen erfolgen.

Frage 28. Welche Folgerung ergibt sich aus der Erscheinung, dass nicht allein an den Polen, sondern auch an andern Stellen eines Magnets Anziehungen und Abstossungen einer Probiernadel stattfinden?

Antwort. Infolge der erwähnten Erscheinung kommt man zu dem Schlusse, dass in jedem Magnet zwei magnetische Kräfte, zwei verschiedene Magnetismen vorhanden sind, von welchen der eine Magnetismus in der Hälfte des Magnets wirksam ist, die den Nordpol enthält, dementsprechend „Nordmagnetismus“ genannt werden kann, und dass der andre Magnetismus in der andern Hälfte des Magnets wirksam ist, welche den Südpol enthält und dementsprechend „Südmagnetismus“ genannt werden kann, und dass die Pole eines Magnets von diesen Magnetismen regiert werden.

Frage 29. In welcher allgemeinen Form kann man nunmehr das Gesetz der Polarität fassen?

Antwort. Nach vorstehender Antwort kann man das in Antwort der Frage 23 aufgestellte Gesetz der Polarität in die allgemeine Form fassen:

„Gleichartige Magnetismen stossen sich ab, ungleichartige Magnetismen ziehen sich an.

(Siehe die Erkl. 50.)

Frage 30. Welches Gesetz lässt sich infolge dessen, dass ein Magnet in seiner Indifferenzzone, d. i. an Stelle der Vereinigung des Nord- und Südmagnetismus, keine Wirkung ausübt, theoretisch aufstellen und durch welche Experimente lässt sich dieses Gesetz praktisch nachweisen?

Erkl. 55. Das in Antwort der Frage 24 angeführte Experiment ist auch ein Beweis des Gesetzes, dass sich die Wirkungen der entgegengesetzten Magnetismen aufheben.

Erkl. 56. Ein anderes Experiment, welches das angeführte Gesetz bestätigt, ist: Krümmt man einen Magnet, welcher die Form einer magnetisierten Feder hat, so, dass sich beide Pole berühren, so hat dieser Magnet fast seine ganze magnetische Kraft verloren.

Antwort. Da in der Indifferenzzone, an Stelle der Vereinigung der entgegengesetzten Magnetismen: Nord- und Südmagnetismus, ein Magnet keine Wirkung äussert, kann man das Gesetz aufstellen:

Bei Vereinigung der entgegengesetzten Magnetismen hebt der eine Magnetismus die Wirkung des andern auf, d. h. die entgegengesetzten Magnetismen fesseln oder binden sich.

Dieses Gesetz kann man unter anderm mittels des nachstehenden Experiments nachweisen: Legt man zwei gleich starke Magnetstäbe so aufeinander, dass ihre ungleichnamigen Polen aufeinander zu liegen kommen, und man nähert eine Probiernadel, so wird man an derselben fast keine Wirkung, Anziehung oder Abstossung wahrnehmen, ebenso werden die so aufeinander gelegten Magnete fast nichts mehr tragen. (Siehe die Erklärungen 55 u. 56.)

Frage 31. Ist eine mechanische Trennung der beiden Magnetismen in einem Magnet möglich und durch welches Experiment lässt sich die Aussage bestätigen?

Erkl. 57. Da die mechanische Trennung der beiden Magnetismen in einem Magnet nicht möglich ist, so kann man auch infolge dessen und wie sich noch später nachweisen lässt, keinen Magnet mit nur einem Pol herstellen. Wie schon erwähnt und später gezeigt wird, gibt es aber Magnete mit mehr als zwei Polen, die sogenannten anomalen Magnete (man siehe diesen Abschnitt).

Antwort. Eine mechanische Trennung der beiden Magnetismen in einem Magnet ist nicht möglich, denn zerbricht man einen Magnet, z. B. eine magnetisierte Stricknadel, in noch so viele Teile, so zeigt jeder Teil, und wenn derselbe noch so klein ist, wieder die ganze Eigenschaft eines Magnets; jeder Teil enthält einen Nord- und einen Südpol, deren Lagen mit den Polen des ursprünglichen Magnets gleichgerichtet sind, wovon man sich, wie in Antwort der Frage 26 angegeben ist, überzeugen kann. (Siehe die Erkl. 57.)

5). Ueber den gebundenen und den freien Magnetismus.

Frage 32. Welche Folgerung lässt sich aus der Erfahrung schliessen, dass jedes Stückchen eines zerbrochenen Magnetstabs (z. B. einer Stricknadel) stets wieder ein Magnet ist?

Erkl. 58. Man vergleiche hierbei den Abschnitt, welcher über das Wesen des Magnetismus handelt.

Antwort. Aus der Erscheinung, dass das kleinste Teilchen eines zerbrochenen Magnetstabes, z. B. einer zerbrochenen Stricknadel, stets wieder ein vollständiger Magnet ist (siehe vorige Antwort), ergibt sich, dass die Indifferenz der mittleren Teile (neutralen Zone) nur eine scheinbare war und dass auch in der Indifferenzzone Magnetismus vorhanden ist und man hiernach jeden Magnet als einen aus sogenannten Elementarmagneten zusammengesetzten Magnet betrachten kann. (Siehe die Erkl. 58.)

Frage 33. Welche weiteren Arten von Magnetismus kann man in einem Magnet, infolge dessen, dass auch in seiner Indifferenzzone Magnetismus vorhanden sein soll, unterscheiden?

Erkl. 59. „Gebundenen“ Magnetismus erhält man, wenn man zwei gleichstarke Magnetstäbe mit ihren ungleichnamigen Polen aufeinander legt. „Freien“ Magnetismus erhält man, wenn man einen Magnetstab in Teile zerbricht.

Erkl. 60. In dem Abschnitt, welcher über die Induktion des Magnetismus handelt, wird gezeigt, dass in jedem Eisenstück gebundener Magnetismus vorhanden ist.

Erkl. 61. Bei allen Erscheinungen, in welchen die nach aussen wirkende Kraft der Magnete in Betracht kommt, hat man nur den freien Magnetismus in Berechnung zu ziehen; tritt jedoch eine magnetische innere Veränderung ein, so muss man die Magnete als aus unzähligen kleinen Elementarmagneten zusammengesetzt sich denken (vergleiche den Abschnitt, welcher über das Wesen des Magnetismus handelt).

Antwort. An jedem Magnet kann man nach voriger Antwort zwei weitere Arten von Magnetismus unterscheiden, nämlich den an den Polen sich äussernden, und den Magnetismus, der sich erst äussern kann, wenn der Magnetstab zerbrochen wird. Den ersteren kann man deshalb mit dem Namen „freien“, den zweiten mit dem Namen „gebundenen“ Magnetismus bezeichnen. (Siehe die Erkl. 59—61.)

6). Ueber die durchdringende Kraft der Magnete. (Isolatoren des Magnetismus.)

Frage 34. Findet zwischen einem Magnet und Eisen auch dann eine direkte Anziehung statt, wenn man einen andern Körper zwischen beide bringt?

Erkl. 62. Die alle Körper durchdringende Kraft eines Magnets wird zu mancherlei Taschenspielerkünsten benutzt.

So wird z. B. ein eiserner Ring durch einen hinter einer Tapete versteckten oder in einem dünnen Futteral verborgenen Magnet getragen. Eine auf einen Teller gelegte Nähnadel kann durch eine unsichtbare Kraft gelenkt werden, nämlich durch einen unter dem Teller hin und hergeschobenen Magnet, u. a. mehr.

Erkl. 63. Bringt man zwischen einen Magnet und ein Stück Eisen ein andres Stück Eisen, so schwächt dieses die Anziehung des Magnets auf das erste Stück Eisen, ohne aber im übrigen die Wirkung des Magnets zu ändern.

Antwort. Die geheimnisvolle Kraft eines Magnets wirkt auf Eisen ähnlich wie die Schwerkraft der Erde, direkt und unverändert; sie durchdringt alle bis jetzt bekannten Körper. Eine direkte Anziehung zwischen Eisen und einem Magnet findet auch dann noch statt, wenn man zwischen beide ein Stück Holz, oder ein Stück Pappe, eine Glasscheibe etc. bringt. (Siehe die Erkl. 62 und 63.)

Frage 35. Findet zwischen zwei Magneten auch dann eine dem Gesetz der Polarität entsprechende Wirkung statt, wenn man einen andern Körper zwischen beide bringt?

Erkl. 64. Die Wirkung eines sehr starken Magnets macht sich auf andre Magnete oder auf Eisen durch die dicksten Felsen- und Wassermassen geltend. Siehe den Abschnitt: Der Erdmagnetismus.

Antwort. Aehnlich wie sich die anziehende Wirkung eines Magnets auf Eisen durch andre Körper hindurch geltend macht, macht sich die Wirkung eines Magnets auf einen andern Magnet durch andre Körper hindurch geltend.

So bringt ein starker Magnet durch fussdicke Mauern hindurch eine Magnetnadel zum Schwingen, d. h. die ungleichartigen Pole beider Magnete suchen sich zu nähern. (Siehe die Erkl. 64.)

Frage 36. Zu welcher Erklärung der magnetischen Direktionskraft führt die durchdringende Kraft eines Magnets?

Antwort. Die alles durchdringende Kraft der Magnete führt zu folgender Erklärung der magnetischen Direktionskraft derselben:

Da alle frei aufgehängten Magnete mit dem Nordpol stets nach einer Richtung im Norden, mit dem Südpol aber stets nach einer Richtung im Süden zeigen, so kann man die Erde selbst als einen sehr grossen und starken Magnet

betrachten, dessen Pole nach dem Gesetz der Polarität richtend auf die der Magnete wirken.

Das weitere hierüber findet man in dem Abschnitt, welcher über den Erdmagnetismus handelt.

Frage 37. Gibt es Isolatoren des Magnetismus?

Antwort. Da der Magnetismus alle bis jetzt erprobten Körper in seiner Wirkung durchdringt, also bis jetzt kein Körper entdeckt werden konnte, der die Wirkung des Magnetismus aufhebt, isoliert, so kann man bis jetzt auch nicht von Isolatoren sprechen. Für den Magnetismus sind bis jetzt alle Körper sogenannte „Leiter". (Siehe die Erkl. 65—67.)

Erkl. 65. Unter einem „Isolator des Magnetismus" hat man einen Körper zu verstehen, mit Hilfe dessen man die Wirkung des Magnetismus von allen Seiten absondern, isolieren kann. Alle übrigen Körper heissen im Gegensatz hierzu „Leiter des Magnetismus".

Erkl. 66. Bis jetzt hat man das „Kupfer" als denjenigen Körper gefunden, der am meisten Widerstand der durchdringenden Kraft des Magnetismus entgegensetzt. Dies ist auch der Grund, warum man einem Kompass kein kupfernes Gehäus geben soll, indem das Kupfer infolge seines Widerstands, welchen es der durchdringenden Kraft des Magnetismus entgegensetzt, die Schwingungen der Magnetnadel verzögert. Siehe hierüber weiter den Abschnitt, welcher über den Kompass handelt.

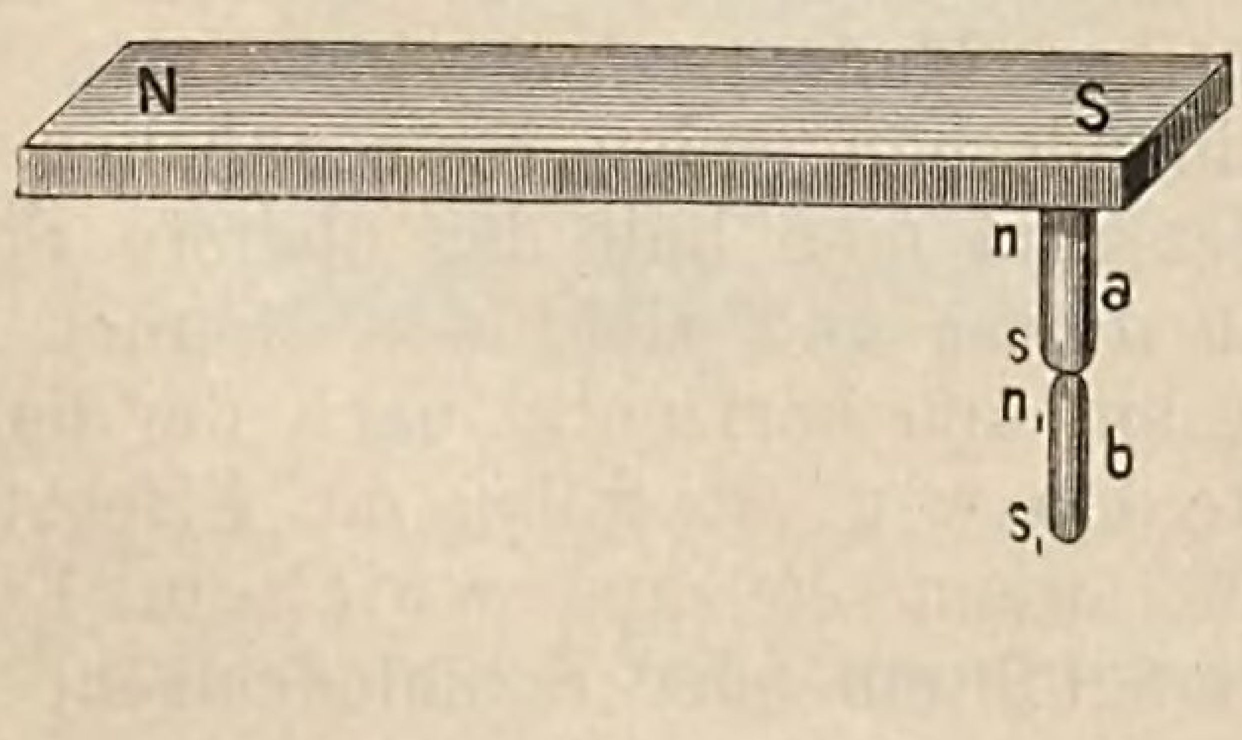
Erkl. 67. Der König von Holland setzte im Jahre 1856 demjenigen einen Preis von 200,000 holländischen Gulden aus, der einen Isolator des Magnetismus auffinden würde. Dieser Preis ist noch nicht errungen worden.

7). Ueber die magnetische Induktion.
(Koercitivkraft und magnetische Figuren.)

Frage 38. Welche Erscheinung kann man an einem Stückchen Eisen, das von einem Magnet angezogen und festgehalten wird, wahrnehmen?

Antwort. An einem Stückchen Eisen, das von einem Pole eines Magnets angezogen und festgehalten wird, kann man die merkwürdige Erscheinung wahrnehmen, dass es die sämtlichen Eigenschaften eines Magnets angenommen hat, somit selbst ein Magnet wurde.

Figur 19.

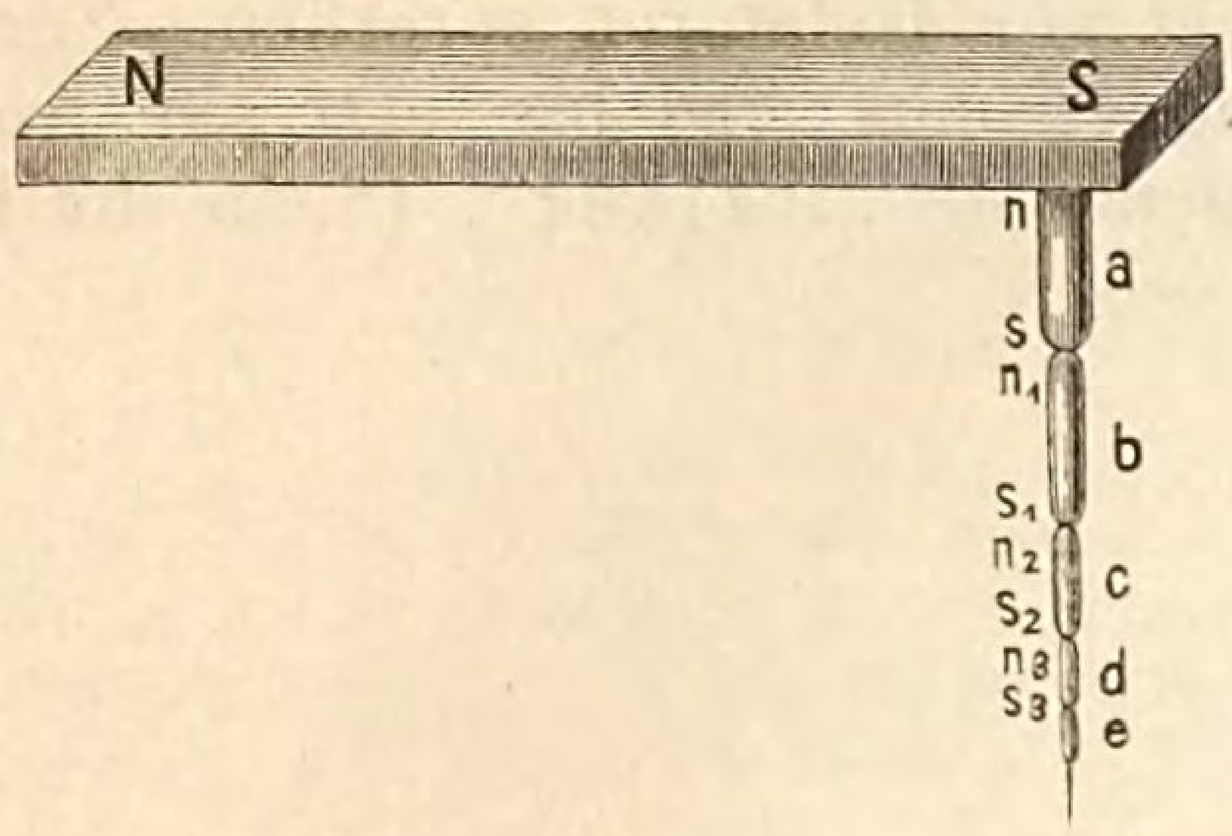


Ist a, siehe Figur 19, ein, z. B. von dem Südpol S des Magnets NS angezogenes und festgehaltenes Eisenstäbchen, so wird dasselbe ein ihm genähertes kleineres Eisenstäbchen b ebenfalls anziehen und festhalten; es hat also eine magnetische Kraft erhalten.

Nähert man ferner dem oberen Ende

Erkl. 68. Nach der in nebenstehender Antwort erwähnten Erscheinung kann man, wie die Figur 20 zeigt, an das zweite Eisenstäbchen *b* ein drittes, kleineres Eisenstäbchen *c* u. s. f. anhängen. Auf solche Weise kann man eine Kette von aneinanderhängenden Eisenstäbchen bilden. Jedes der angehängten Stäbchen enthält polar-magnetische Eigenschaften, d. h. es wird selbst zu einem Magnet. Die Pole dieser Magnetchen, die mit dem Pole des Magnets, an dem sie hängen, die gleichnamigen sind, sind sämtlich nach der dem Magnet entgegengesetzten Seite, also nach unten gerichtet. In den Figuren 19 u. 20 sind dies die Südpole.

Figur 20.



Erkl. 69. Die in nebenstehender Antwort erklärte und durch die Figuren 19 u. 20 dargestellte Erscheinung ist ein Pendant zu der Erscheinung, welche sich ergibt, wenn man einen Magnet, z. B. eine magnetische Stricknadel, in kleine Teile zerbricht. — Siehe hierüber die Antwort der Frage 30.

des Stäbchens *a* den Südpol einer Probiernadel, so wird derselbe angezogen, nähert man ihm aber den Nordpol, so wird er abgestossen. Infolge dessen hat man sich im oberen Ende des Stäbchens, nämlich in demjenigen, welches dem Südpol des anziehenden Magnets am nächsten ist, nach dem Gesetz der Polarität einen Nordpol zu denken. Nähert man hingegen dem unteren Ende des Eisenstäbchens *a* den Südpol einer Probiernadel, so wird dieselbe abgestossen, während der Nordpol der Nadel daselbst angezogen wird. Infolge dessen hat man sich im unteren Ende des Stäbchens, nämlich in demjenigen, welcher jenem Südpol des anziehenden Magnets am entferntesten ist, nach dem Gesetz der Polarität einen Südpol zu denken.

Hieraus folgt, dass das von dem Magnet *NS* in seinem Südpole *S* angezogene und festgehaltene Eisenstückchen *a* selbst ein Magnet wurde, dessen gleichnamiger Pol von jenem Pol *S* am entferntesten ist und dessen Nordpol an jenem Südpol des Magnets liegt, was nach dem Gesetz der Polarität (für die beiden Magnete *NS* und *a*) auch stattfinden muss.

Das was für das Eisenstäbchen *a* in bezug auf den es festhaltenden Magnet *NS* gesagt ist, gilt auch, wovon man sich überzeugen kann, von dem Eisenstäbchen *b* in bezug auf den es festhaltenden Magnet (Eisenstäbchen) *a*. (Siehe die Erkl. 68 u. 69.)

Frage 39. Welche Erscheinung findet statt, wenn bei dem durch die Figuren 19 u. 20 dargestellten Experiment der Magnet entfernt wird, damit die Wirkung desselben auf die Eisenstäbchen aufhört?

Erkl. 70. Warum man den Magnet auf die neben angegebene Weise wegnehmen muss, hat seinen Grund darin, dass auf das magnetisierte Eisen *a* kein störender Einfluss ausgeübt wird. (Siehe den Abschnitt, welcher über die Schwächung der magnetischen Kraft handelt.)

Antwort. Hat man sich, wie in Figur 20 angedeutet ist, mittels eines kräftigen Magnets *NS* eine Kette von aneinanderhängenden Eisenstäbchen gebildet und man hält das oberste Stäbchen *a* fest und zieht den Magnet *NS* langsam und horizontal nach der linken Seite hin weg, so fallen die Eisenstäbchen, wenn sie aus weichem Eisen (ausgeglühtem oder Schmiedeeisen) be-

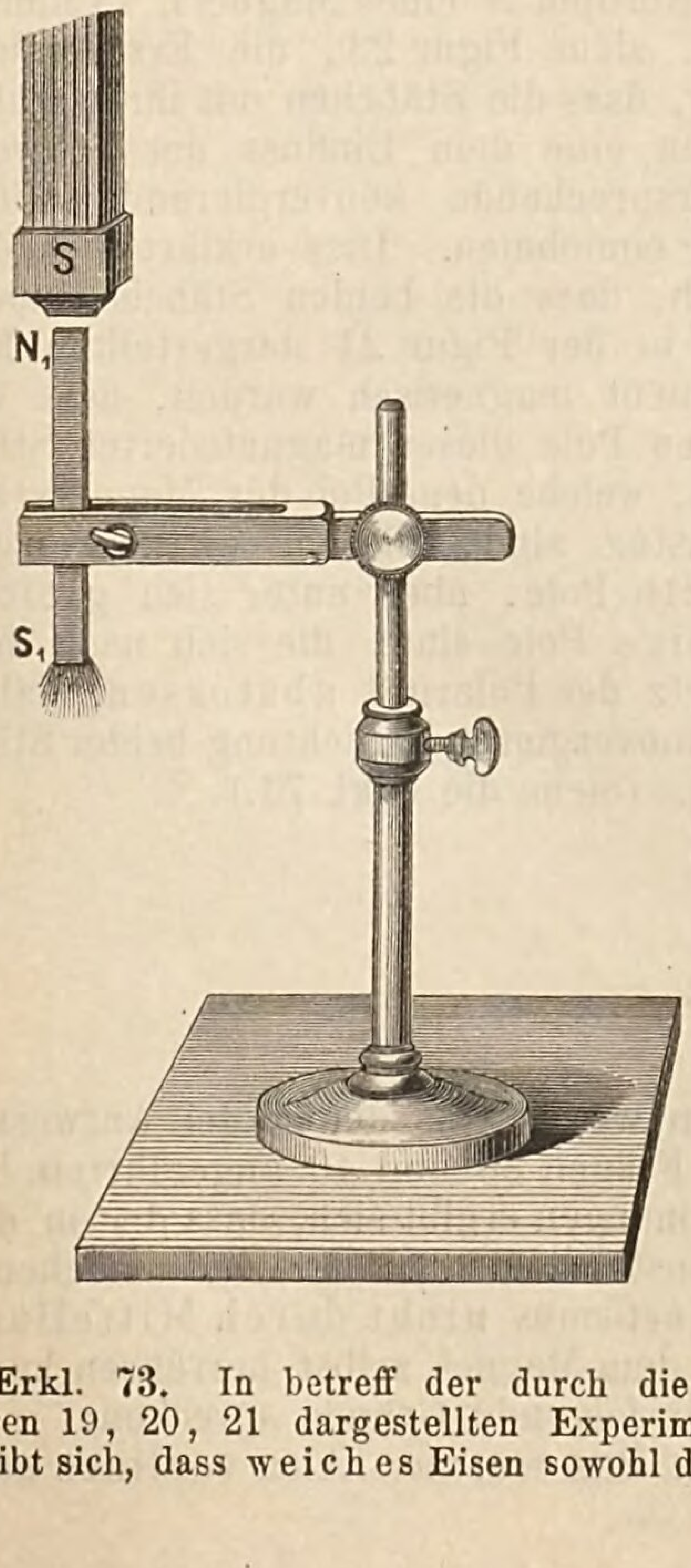
Erkl. 71. Wie in nebenstehender Antwort erwähnt, wird bei der direkten Berührung mit einem Magnet weiches Eisen nur vorübergehend magnetisch, während hartes Eisen, Stahl, dauernd magnetisch wird. Dementsprechend unterscheidet man temporäre und permanente Magnete. Hängt man z. B. einem Magnet eine Nähnadel (harter Stahl) an, so wird dieselbe nach der Entfernung dauernd magnetisch bleiben.

Erkl. 72. Bemerkt sei hier noch, dass weiches Eisen oft noch nach dem Magnetisieren Spuren sogenannten „remanenten" (zurückbleibenden) Magnetismus zeigt, was auf harte Eisenteilchen schliessen lässt.

stehen, sofort auseinander und keines der Eisenstäbchen enthält mehr seine früheren magnetischen Eigenschaften. Sind hingegen die Eisenstäbchen aus hartem Eisen, hartem Stahl angefertigt, so fallen nach dem Wegziehen des Magnets nur wenige oder gar keine der Stäbchen ab und jedes der Stäbchen wird seine magnetischen Eigenschaften dauernd beibehalten. Bei Benutzung harten Eisens erfordert die Berührung bis zum magnetisch werden des Eisens längere Zeit. (Siehe die Erkl. 70—72.)

Frage 40. Welche Erscheinung findet statt, wenn man einem senkrecht aufgehängten Eisenstab von oben den Pol eines starken Magnets nähert und wieder entfernt?

Figur 21.



Erkl. 73. In betreff der durch die Figuren 19, 20, 21 dargestellten Experimente ergibt sich, dass weiches Eisen sowohl durch

Antwort. Hat man, wie in der Figur 21 angedeutet ist, an einem Stativ einen Eisenstab N_1 S_1 vertikal befestigt und man nähert dem oberen Ende einen Pol, z. B. den Südpol S eines kräftigen Magnets, ohne dass man aber hierbei den Magnet mit dem Eisenstab in direkte Berührung bringt (was man dadurch erreichen kann, dass man unter anderm auf jenes Ende des Eisenstabes ein Kartenblatt oder Holzscheibe, Glastafel etc. auflegt), indem man sonst das in Antwort der Frage 38 vorgeführte Experiment wiederholen würde, und bringt alsdann an das untere Ende des Eisenstabes Eisenfeilspähne, so werden diese Spähne in Form eines Büschels, Bartes, von dem Eisenstab festgehalten. Man hat somit dieselbe Erscheinung, wie sie bei dem durch Figur 19 dargestellten Experiment stattfindet, nämlich der Eisenstab ist magnetisch geworden und hat die ganzen Eigenschaften eines Magnets angenommen. Bringt man in die Nähe der Enden des magnetisierten Eisenstabes die Pole einer Probiernadel, so erkennt man, dass, wie in dem durch die Figur 19 dargestellten Versuche, der Pol des magnetisierten Stabes, der dem Pol des Magnets am nächsten ist, ein ungleichnamiger zu dem letztern, der entferntere Pol aber ein gleichnamiger ist.

Entfernt man den Magnet von dem Eisenstab, so fallen auch die an dem

Berührung als auch durch Annäherung an einen Magnet selbst zu einem Magnet wird, der aber wieder seine magnetischen Eigenschaften verliert, sobald jener Magnet entfernt ist; er ist also nur zeitweilig, temporär, ein Magnet, daher die Bezeichnung „temporäre Magnete". Hatte man hingegen hartes Eisen oder Stahl zu jenen Experimenten benutzt, so wurde das harte Eisen oder der Stahl nur bei direkter Berührung, nicht aber durch blosse Annäherung magnetisch.

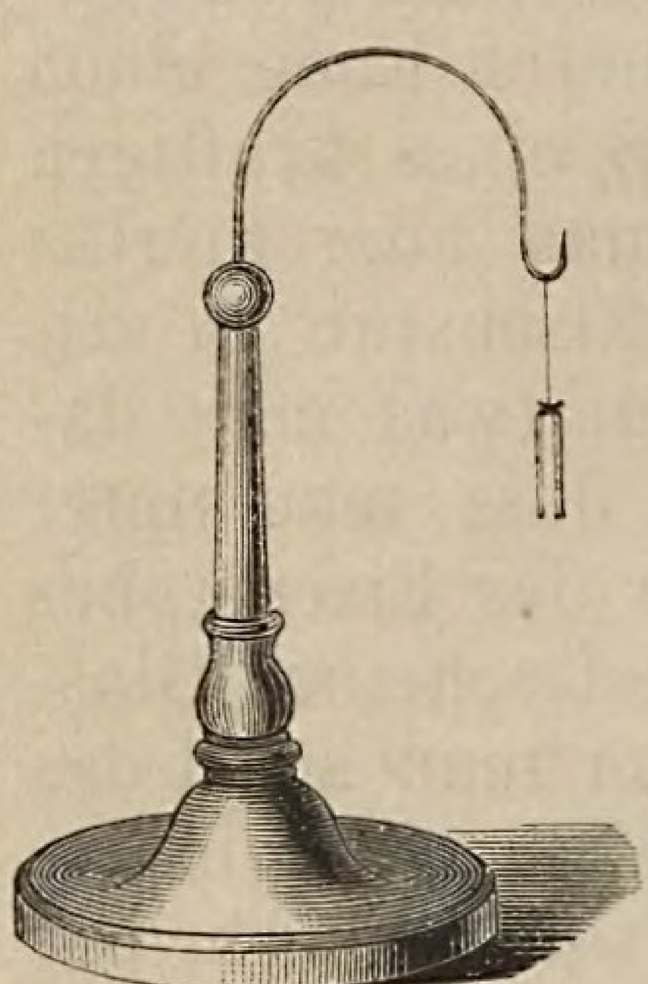
Eisenstab haftenden Eisenteilchen wieder ab. Der Eisenstab behielt also nur so lange seine magnetische Kraft, als sich ein Pol des Magnets in der Nähe befand.

Besteht der Stab aus sehr weichem Eisen, so kann man ihn schon von beträchtlicher Länge machen. Besteht der Stab aus hartem Eisen oder Stahl, so zeigt sich die erwähnte Erscheinung fast gar nicht. (Siehe die Erkl. 73.)

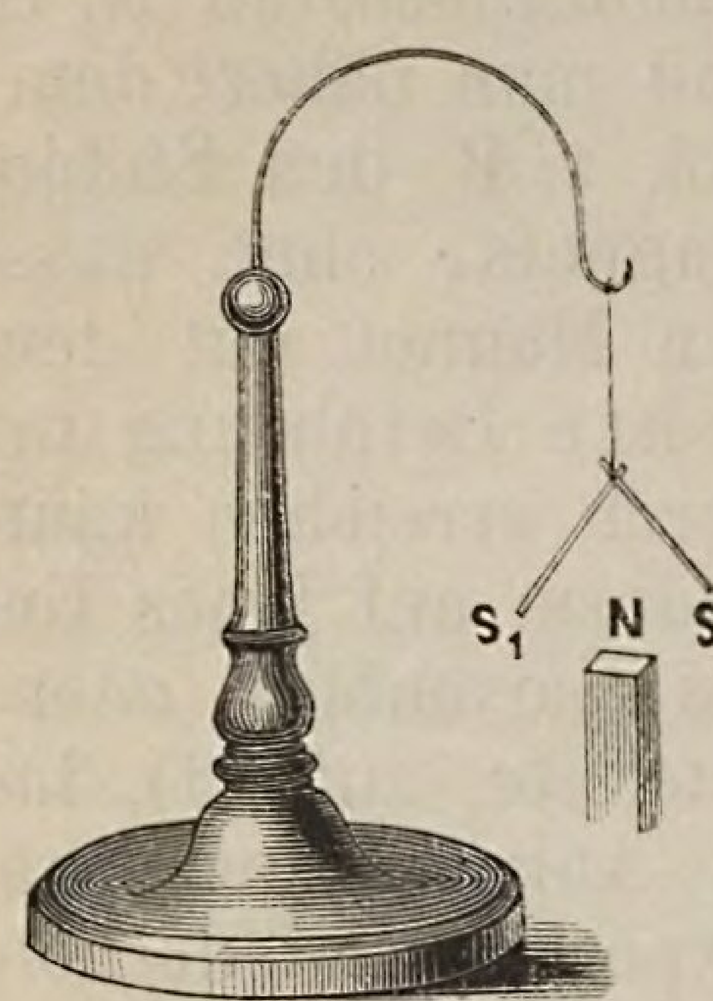
Frage 41. Welche Erscheinung findet statt, wenn man zwei weiche Eisenstäbchen oder Drähte an einen Faden aufhängt und denselben von unten den Pol eines Magnets nähert?

Antwort. Befestigt man an dem einen Ende eines Fadens zwei weiche Eisenstäbchen oder Eisendrähte und hängt den Faden an dem andern Ende so auf, dass die Stäbchen vertikal nach unten hängen, siehe Figur 22, und nähert alsdann den Stäbchen von unten z. B. den Nordpol N eines Magnets, so nimmt man, siehe Figur 23, die Erscheinung wahr, dass die Stäbchen mit ihren freien Enden eine dem Einfluss der Schwere widersprechende konvergierende Richtung einnehmen. Dies erklärt sich dadurch, dass die beiden Stäbchen nach dem in der Figur 21 dargestellten Experiment magnetisch wurden, dass die beiden Pole dieser magnetisierten Stäbchen, welche dem Pol des Magnets am nächsten sind, diesem entgegengesetzte Pole, aber unter sich gleichnamige Pole sind, die sich nach dem Gesetz der Polarität abstossen, daher die konvergierende Richtung beider Stäbchen. (Siehe die Erkl. 74.)

Figur 22.



Figur 23.



Erkl. 74. Durch das in den Figuren 22 u. 23 angedeutete Experiment erklärt sich auch die Erscheinung, dass wenn man an das untere Ende des Eisenstabes in der Figur 21 Eisennägel oder z. B. Stücke von Haarnadeln bringt, diese mit der Hand zusammenhält und nachdem sie angezogen sind, aus der Hand lässt, dieselben auseinanderschnellen und einen Fächer bilden.

Auch der in der Figur 21 durch die Eisenspähnchen gebildete Büschel, welcher die Form eines Bartes hat, erklärt sich hierdurch.

Frage 42. Zu welcher Erklärung führen die durch die Figuren 19—23 dargestellten Experimente in betreff der Erregung des Magnetismus?

Antwort. Aus den in den Antworten der Fragen 38 und 40 angeführten Erscheinungen ergibt sich, dass der in den Eisenstäbchen sich geltend machende Magnetismus nicht durch Mitteilung von dem Magnet selbst herrühren kann, wofür folgende Gründe sprechen:

1). Das weiche Eisen verliert nach

Erkl. 75. Das Wort „Influenz“ kommt von dem lateinischen Wort „influo“ (influieren), d. h. hineinfliessen.

Erkl. 76. Das Wort „Induktion“ kommt von dem lateinischen Wort „inductio“ (induzieren), d. h. hineinführen.

Erkl. 77. Wie später gezeigt wird, ist die Bezeichnung „magnetische Verteilung“ eine veraltete und entspricht nicht mehr der neueren Theorie des Magnetismus. Der Verfasser hat die Bezeichnung: „magnetische Induktion“ als die mit andern später vorgeführten Erscheinungen übereinstimmendste beibehalten.

der Entfernung des Magnets seine magnetische Kraft;

2). die in Rede stehenden Experimente kann man beliebig oft wiederholen, auch wenn man in dem durch die Figur 19 dargestellten Experiment harte Eisenstücke benützt, ohne dass der Magnet an Kraft verliert, was notwendigerweise stattfinden müsste, wenn er von seiner Kraft den Eisenstücken mitteilte;

3). der dem Eisenstücke zugekehrte Pol des Magnets könnte nur von seinem eigenen Magnetismus, also entweder Nord- oder Südmagnetismus mitteilen, aber nicht beide Magnetismen zugleich, wie sie sich in den magnetisierten Eisenstäben vorfinden;

4). gerade in demjenigen Ende des Eisenstabes, der dem Pol des Magnets zugekehrt ist, wird der diesem Pol entgegengesetzte Magnetismus hervorgerufen.

Aus diesen Erscheinungen ergibt sich hingegen, dass in allem Eisen von Natur aus beide Magnetismen vorhanden sind, dass die Indifferenz des Eisens, das sich nicht im magnetischen Zustande befindet, nur eine scheinbare ist, dass sich nach dem Gesetz der Polarität beide im Eisen vorfindende Magnetismen vollständig binden (siehe auch Antwort der Frage 33), also auch in gleicher Stärke vorhanden sein müssen, und dass schliesslich der Pol eines dem Eisen genäherten starken Magnets infolge seiner grösseren Kraft jene beiden Magnetismen trennt, dabei nach dem Gesetz der Polarität den gleichnamigen Magnetismus abstösst, den ungleichnamigen aber anzieht.

Die Erregung des Magnetismus in Eisen durch einen Magnet ist somit keine Mitteilung, keine Uebertragung, der Kraft des Magnets auf das Eisen, wohl aber kann man sagen: der Magnet bewirkt eine Verteilung der in dem Eisen enthaltenen Magnetismen. Die Erregung des Magnetismus nannte man daher: „magnetische Verteilung“. Jetzt nennt man die Erregung (Einführung) des Magnetismus: magnetische Influenz oder magnetische Induktion. (Siehe die Erkl. 75—77.)

Frage 43. Worin besteht das Gesetz der magnetischen Induktion?

Antwort. Aus den durch die Figuren 19—23 dargestellten Experimenten ergibt sich, dass:

Jeder Magnetismus in seiner Nähe den entgegengesetzten Magnetismus hervorruft,

und dies nennt man das Gesetz der magnetischen Induktion. (Siehe Erkl. 77.)

Frage 44. Welche Folgerung ergibt sich aus dem Gesetz der magnetischen Induktion in bezug auf die Anziehung des Eisens durch einen Magnet?

Erkl. 78. Infolge des Gesetzes der magnetischen Induktion und des Gesetzes der Polarität wirkt das weiche Eisen vermöge seiner vor der Anziehung erlangten Polarität auf den Magnet zurück und ruft in dem Magnet infolge der induzierenden Wirkung den entgegengesetzten Magnetismus hervor und hierauf beruht die Wirkung der Armatur der natürlichen Magnete und die Verstärkung der künstlichen Magnete durch angehängte Eisenstücke, die sogenannten Anker. (Siehe den Abschnitt: „Ueber die Vermehrung der magnetischen Kraft der Magnete“.)

Antwort. Da nach dem Gesetz der magnetischen Induktion jeder Magnetismus in der Nähe den entgegengesetzten hervorruft, so ergibt sich die Folgerung, dass die Anziehung des Eisens (oder eines andern Körpers) durch einen Magnet eine unmittelbare Folge jenes Gesetzes ist, indem das Eisen vorübergehend magnetisch gemacht wird und dann nach dem Gesetz der Polarität die Anziehung der entgegengesetzten Magnetismen erfolgt. (Siehe die Erkl. 78.)

Frage 45. Was versteht man unter der magnetischen Koercitivkraft?

Erkl. 79. Mit einem schwachen Magnet kann man schon in einem grossen Eisenstück Magnetismus erregen, wenn dasselbe aus weichem Eisen besteht, während man einen starken Magnet nehmen muss, um in einem kleineren Eisenstück, das aber aus hartem Eisen, aus Stahl, besteht, Magnetismus zu erregen.

Erkl. 80. Die Koercitivkraft ist abhängig von der inneren Beschaffenheit, dem Kohäsionszustand der Eisenteilchen, wie sich aus den Experimenten mit weichen und harten Eisensorten ergibt. Die Erkenntnis der Koercitivkraft der verschiedenen Eisensorten ist sehr schwer, das Studium derselben der wichtigste Teil in der Lehre des Magnetismus, weil sich nach ihr die Wirkung der Magnete richtet. (Siehe die Erkl. 98.)

Erkl. 81. Die Erklärung der Verschiedenheit der Koercitivkraft in den verschiedenen Eisensorten ist in dem Abschnitt enthalten, welcher über das Wesen des Magnetismus handelt. (Siehe auch die Erkl. 97 u. 98.)

Antwort. In dem durch die Fig. 19 dargestellten Experiment wird durch direkte Berührung mittels eines starken Magnets sowohl in weichem als auch in dem harten Eisen, dem Stahl, infolge der magnetischen Induktion, Magnetismus erregt, nur mit dem Unterschiede, dass diese Erregung im harten Eisen (Stahl) langsamer und weniger kräftig stattfindet, als in dem weichen Eisen, welches sofort den Magnetismus annimmt (siehe Erkl. 79) und dass nach der Entfernung des Magnets das weiche Eisen seine magnetische Eigenschaft verliert, während das harte Eisen seine magnetische Eigenschaft dauernd beibehält.

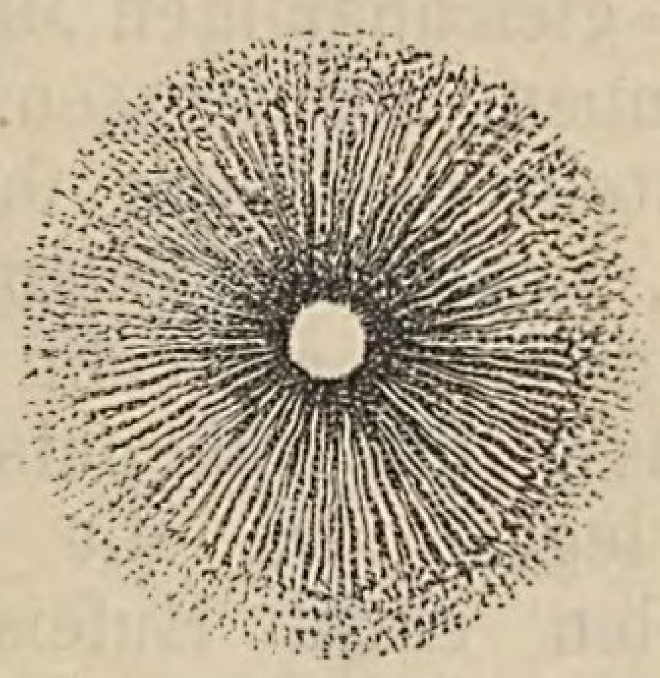
Ferner ergibt sich aus dem durch die Fig. 20 dargestellten Experiment, nämlich durch Annäherung (ohne Berührung) eines Magnets, dass nur in weichem Eisen Magnetismus erregt werden kann, nicht aber in derselben Weise in hartem Eisen, im Stahl.

Dieses verschiedene Verhalten der

Eisensorten gegen die Erregung des Magnetismus in denselben gab Anlass zur Definition einer neuen Kraft, der sogenannten „Koercitivkraft", unter welcher man die Kraft versteht, vermöge deren sich die innere Beschaffenheit der Eisensorten der Erregung und der Beibehaltung des Magnetismus widersetzt. (Siehe die Erkl. 79—81.)

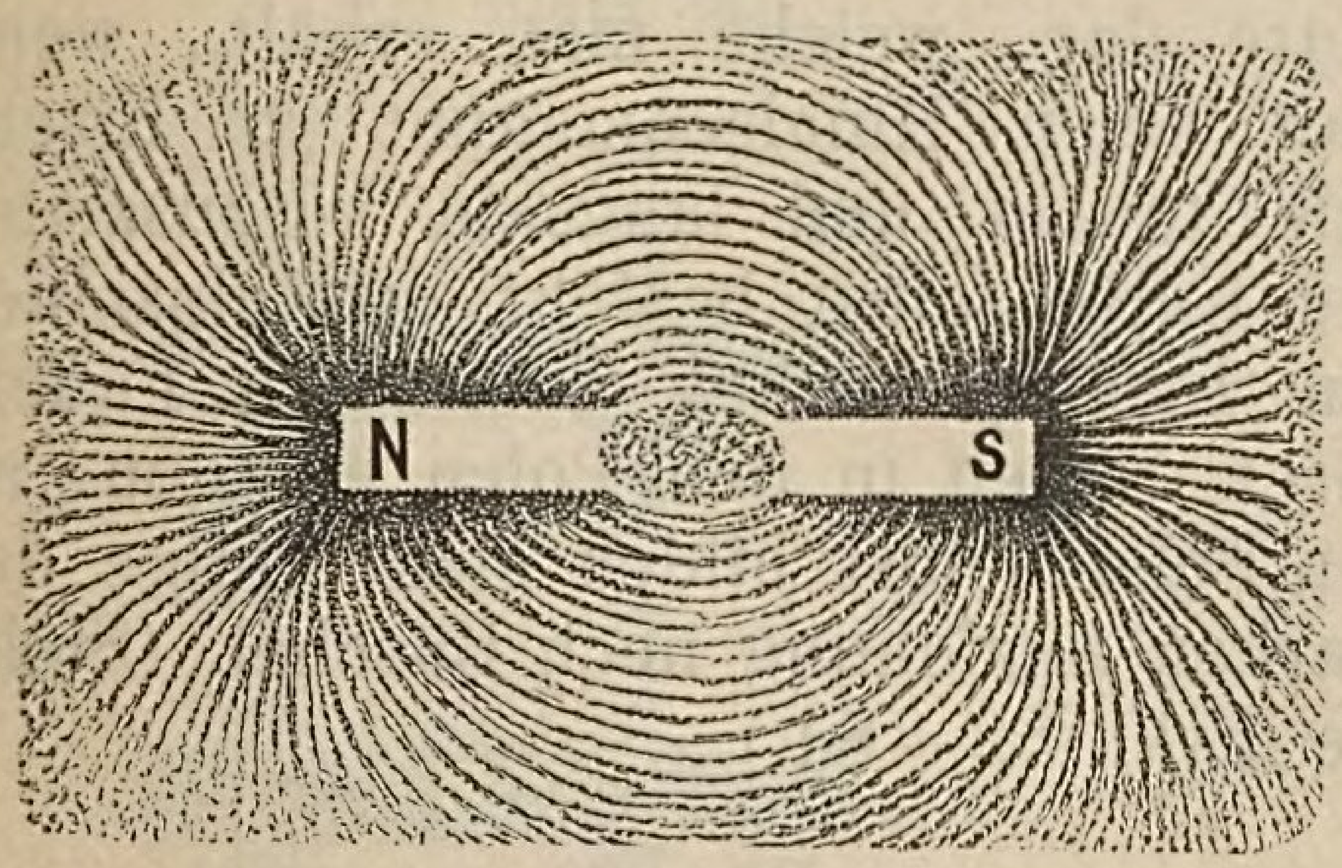
Frage 46. Was versteht man unter den magnetischen Figuren und den merkwürdigen Kurven, sog. Kraftlinien?

Figur 24.

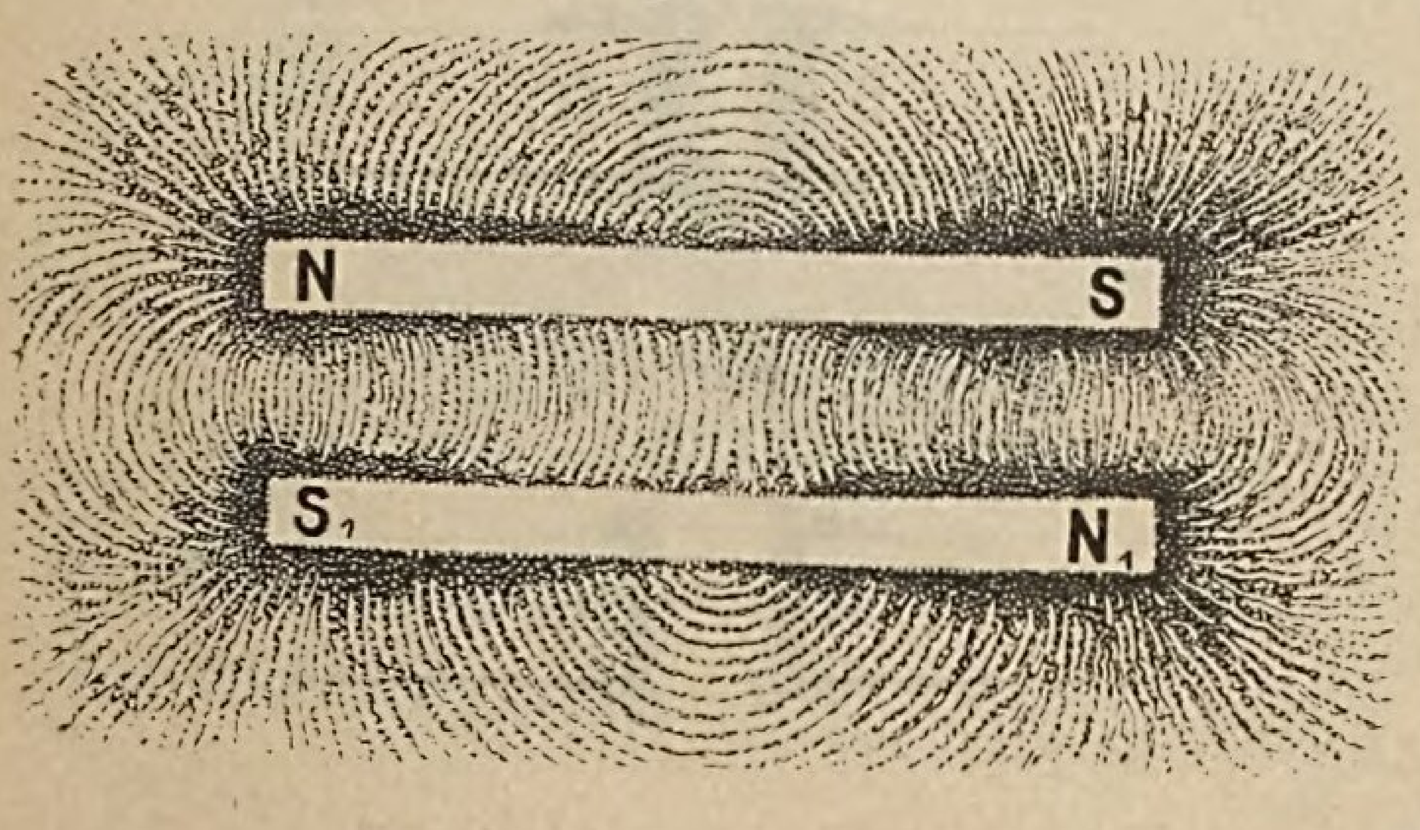


Erkl. 82. Aus der Figur 24 ersieht man, dass die Endfläche des unter dem Papier vertikal stehend gedachten Magnetstabes frei von Eisenspähnen ist, womit experimentell dargegethan ist, dass der Sitz des Magnetismus bei den benutzten künstlichen Magneten fast ausschliesslich in der Oberfläche der Magnete zu suchen ist.

Figur 25.



Figur 26.



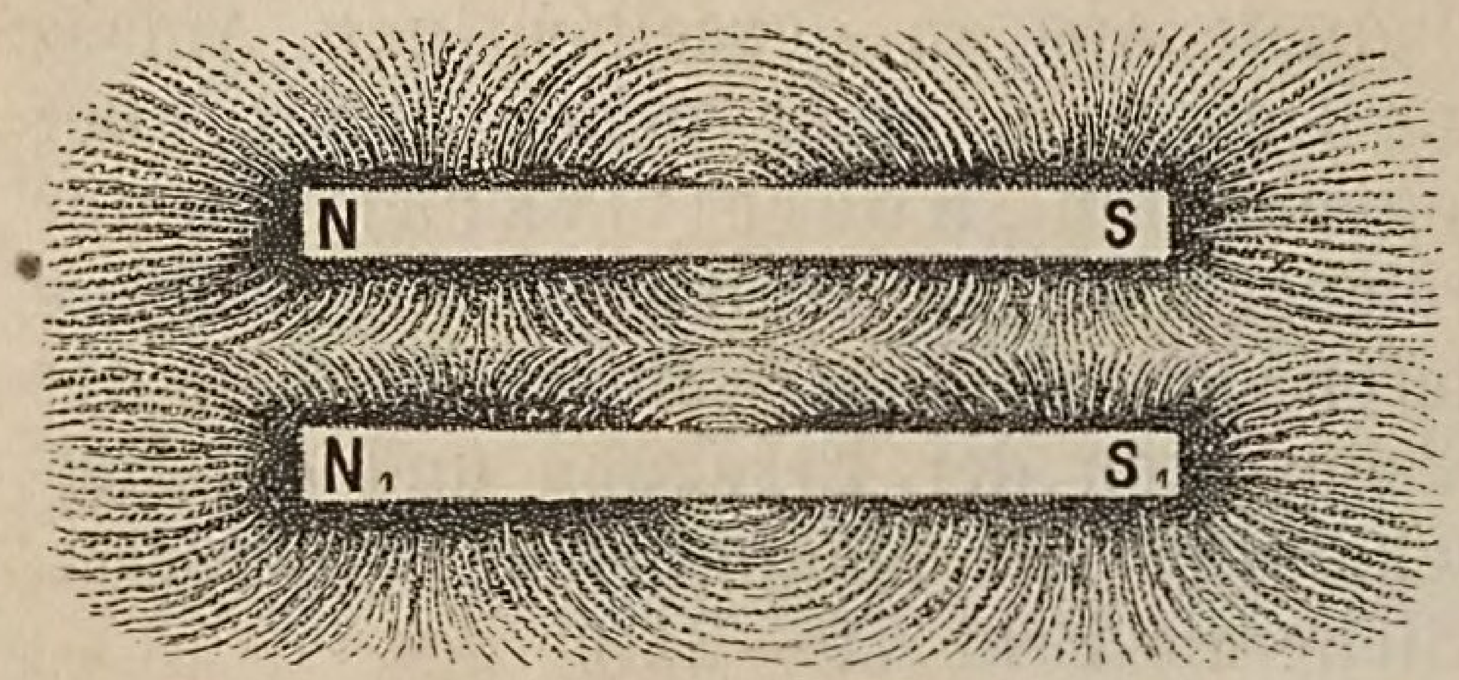
Antwort. Legt man einen steifen Bogen Papier über einen Magnet und streut über das Papier (sorgfältig durchgesiebt) feine Eisenfeilspähne, so werden die einzelnen Spähnchen infolge der magnetischen Induktion magnetisch und hängen sich mit ihren ungleichnamigen Polen, nach dem Gesetz der Polarität, aneinander an, was man durch trommeln mittels eines leichten Stäbchens auf dem Papier befördern kann, wodurch, je nach der Form des Magnets, ganz gesetzmässige Figuren entstehen, die man magnetische Figuren nennt. Die Linien, nach welchen sich die Spähnchen aneinanderhängen, heissen merkwürdige Kurven oder Kraftlinien und sind, wie später gezeigt wird, gesetzmässig gebildet, lassen sich auch danach konstruieren.

Fig. 24 stellt die Figur dar, welche entsteht, wenn man einen cylindrischen Magnetstab lotrecht aufstellt und auf die obere Endfläche das Papier legt. Die Anordnung der Eisenspähnchen erfolgt strahlenförmig gleichmässig nach allen Seiten.

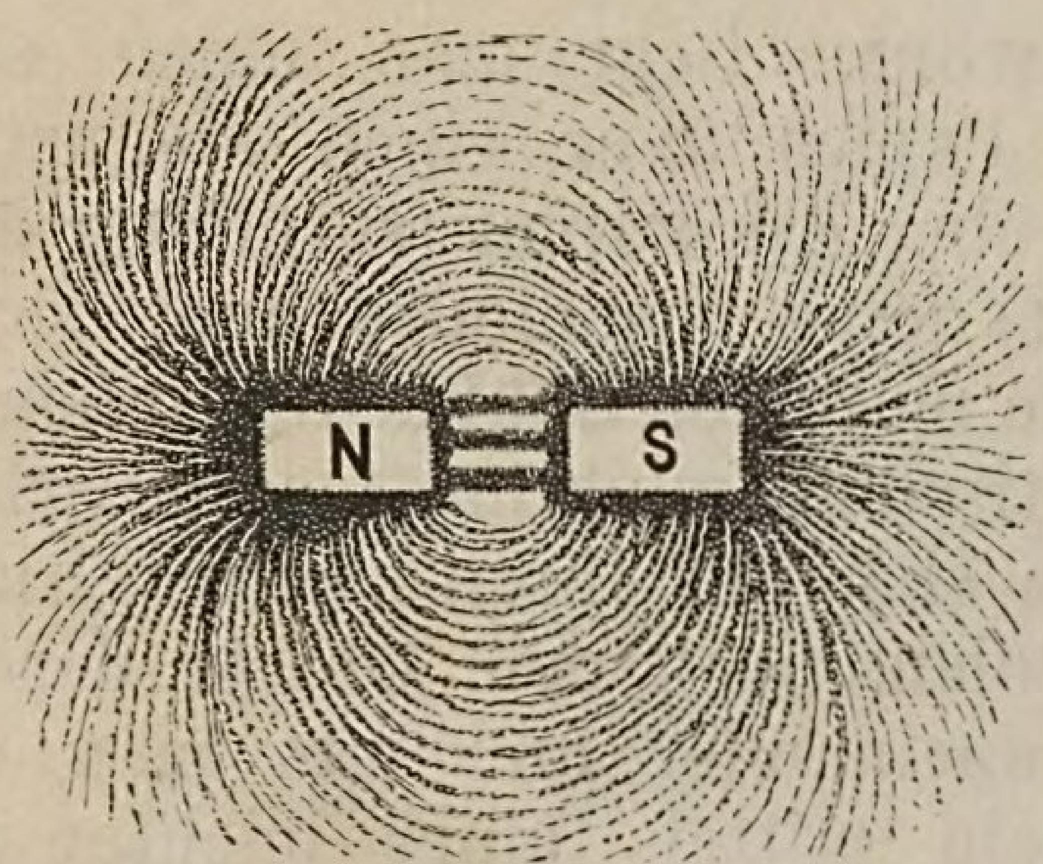
Fig. 25 stellt die Figur dar, welche man erhält, wenn man auf eine Fläche eines prismatischen Magnetstabes den Papierbogen legt. An den Polen erfolgt die Anordnung der Eisenspähne strahlenförmig nach aussen, nach der Indifferenzzone gehen die Kraftlinien von links und rechts nach rückwärts, woran man die Neigung erkennt, dass Süd- und Nordmagnetismus sich verbinden wollen. Die Erscheinung findet statt, auf welche Seitenfläche des Magnetstabes man auch das Papier legen mag.

Fig. 26 stellt die Figur dar, welche

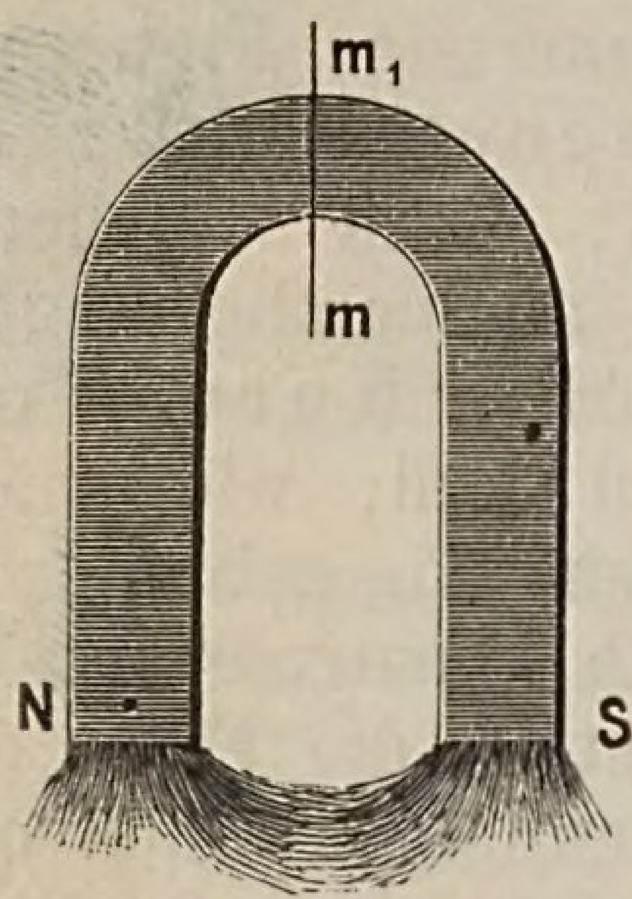
Figur 27.



Figur 28.



Figur 29.



Erkl. 83. Nähert man zwei Magnete, an deren Polen Eisenfeilspähne haften, mit ihren ungleichen Polen, so bewegen sich, wie Figur 30 zeigt, die aus Eisenspähnen gebildete Fasern gegeneinander; nähert man sie mit ihren gleichnamigen Polen, so bewegen sich, wie Figur 31 zeigt, jene Fasern nach entgegengesetzten Richtungen. Dies benutzt man zum Erkennen der Gleichheit der Pole, wenn ein gezeichneter Magnet (eine Probiernadel) nicht vorhanden ist.

Erkl. 84. Hat man einen Hufeisenmagnet in feines Eisenpulver getaucht und die durch die Figur 29 dargestellte Kette erhalten, so kann man ein weiteres schönes Experiment machen, wenn man mittels eines Zündholzes das Eisenpulver ansteckt, es wird nämlich sofort brennen und weiterglimmen. Bei der Verbrennung geht eine Oxydation des Eisens vor sich und man erhält eine kompakte Masse, bestehend aus Eisenoxyduloxyd, welche ähnlich den natürlichen Magneten ist und dauernd magnetische Kraft behält.

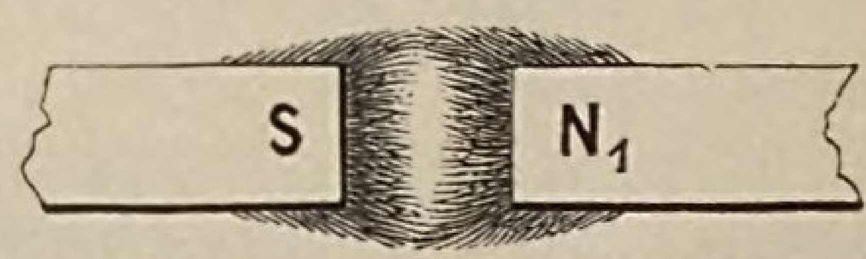
man erhält, wenn man zwei Magnetstäbe nebeneinander so legt, dass ihre ungleichnamigen Pole (freundlichen Pole) nebeneinander zu liegen kommen und dann den Papierbogen darüber legt. An dieser Figur erkennt man die Neigung der entgegengesetzten Magnetismen sich zu verbinden.

Fig. 27 stellt die Figur dar, welche man erhält, wenn man zwei Magnetstäbe nebeneinander so legt, dass ihre gleichnamigen Pole (feindlichen Pole) nebeneinander zu liegen kommen und alsdann den Papierbogen darüber legt. An dieser Figur erkennt man das Bestreben der gleichnamigen Magnetismen sich zu trennen, abzustossen.

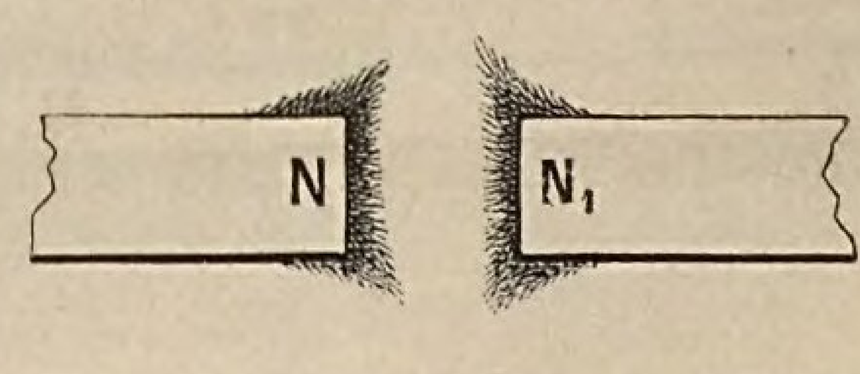
Fig. 28 stellt die Figur dar, welche man erhält, wenn man einen Hufeisenmagnet umgekehrt aufrecht stellt und auf die Füsse des Magnets den Papierbogen legt. Da die Anziehung an den Polen eines Hufeisenmagnets kräftiger wirkt, so treten auch die sogenannten Kraftlinien stärker hervor; an den Polen häufen sich die meisten Eisenspähne an, infolge dessen trennen sich die um die beiden Pole entstehenden Figuren mehr von einander, als dies in der Figur 25 der Fall ist.

Fig. 29 stellt endlich die Figur, die Kette dar, welche man erhält, wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht und langsam herauszieht. Die Kette selbst besteht aus einzelnen von Eisenspähnchen gebildeten Fäden, deren Enden in den Polen endigen, an den Polen selbst bilden sich infolge der starken Anziehung noch Büschel. (Siehe die Erkl. 82—84.)

Figur 30.



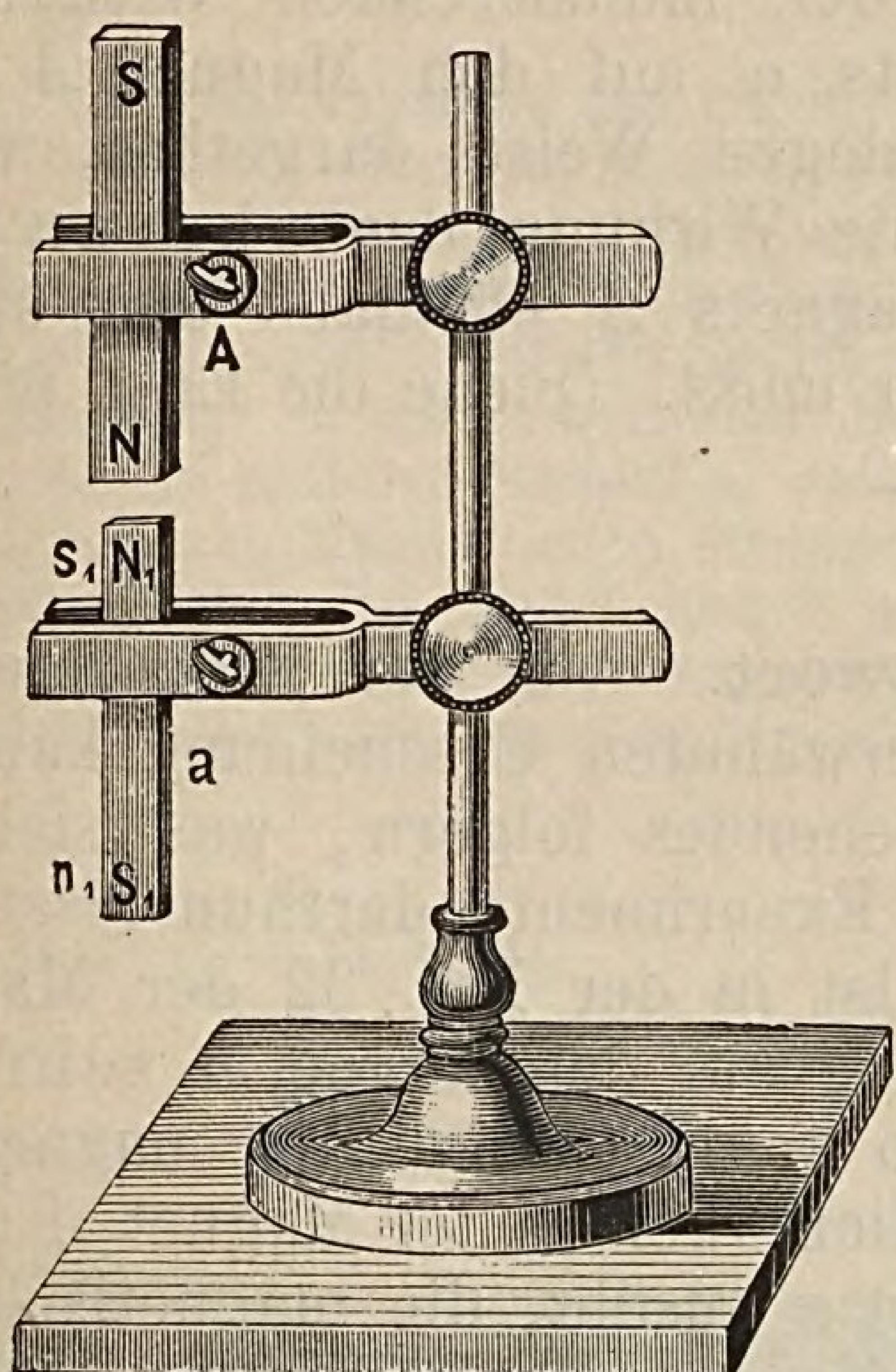
Figur 31.



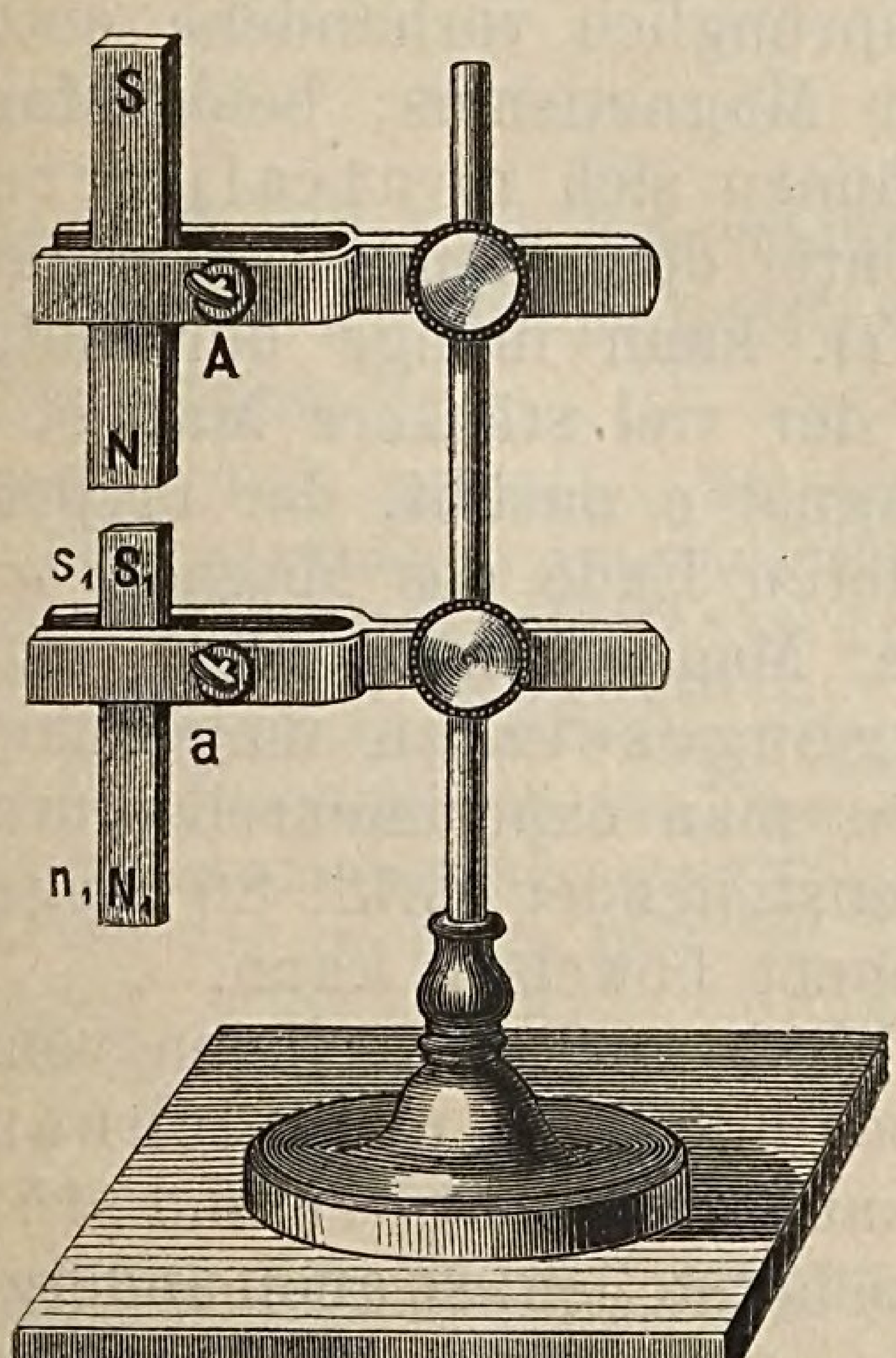
8). Ueber die Wirkung der Magnete auf einander.

Frage 47. Welche Erscheinung findet statt, wenn man einem senkrecht aufgehängten Magnetstab von oben den Pol eines andern Magnetstabes nähert?

Figur 32.



Figur 33.



Antwort. Nimmt man zu dem durch die Figur 21 dargestellten Experiment statt eines Eisenstabes einen Magnetstab *a*, siehe Fig. 32, und man nähert diesem von oben den Pol eines andern kräftigeren Magnets *A*, so lässt sich auch hier der Einfluss magnetischer Induktion erkennen, indem die Wirkung des Magnets *a* an seinem unteren Ende (die Wirkung des Magnets *A* an seinem oberen Ende) entweder schwächer oder stärker wird, und zwar je nachdem die infolge der magnetischen Induktion hervorgerufenen Pole des Magnets *a* mit seinen ursprünglichen Polen ungleichnamig oder gleichnamig sind.

Die Wirkung an dem unteren Ende des Magnets *a* wird eine schwächere, wenn die beiden gleichnamigen Pole, z. B. die beiden Nordpole N und N_1 der Magnete, wie die Figur 32 zeigt, die sich nahestehenden sind, indem infolge des Gesetzes der magnetischen Induktion der Nordpol N des Magnets A in dem ihm nahen Ende des Magnets *a* einen entgegengesetzten Pol, nämlich, wie in der Fig. 32 durch kleine Buchstaben angedeutet ist, einen Südpol s_1, in dem andern Ende aber einen Nordpol n_1 hervorzurufen bestrebt ist; da dies den ursprünglichen Polen N_1 und S_1 entgegengesetzte Pole sind, so wird dadurch die Wirkung am unteren Ende des Magnets *a* eine schwächere werden. (Infolge der induzierenden Wirkung des Magnets *a* auf den Magnet A kann man in analoger Weise darthun, dass die Wirkung des oberen Endes des Magnets A ebenfalls geschwächt wird.)

Die Wirkung an dem unteren Ende des Magnets *a* wird eine stärkere, wenn die beiden ungleichnamigen Pole, wie die Figur 33 zeigt, die sich nahestehenden sind, indem infolge des Gesetzes der magnetischen Induktion der Nordpol des Magnets A in dem

Erkl. 85. Durch Anhängen von Eisenstückchen, die verschiedenes Gewicht haben, an dem unteren Ende des Magnets *a* kann man sich experimentell von nebenstehender Aussage überzeugen. Das untere Ende des Magnets *a* in Figur 33 wird bis zum Abreissen mehr tragen, als das untere Ende des Magnets *a* in Figur 32.

ihm nahen Ende des Magnets *a* einen entgegengesetzten Pol, nämlich, wie in der Figur 33 durch kleine Buchstaben angedeutet ist, einen Südpol s_1, in dem andern Ende aber einen Nordpol n_1 hervorzurufen bestrebt ist; da dies den ursprünglichen Polen S_1 und N_1 gleichnamige sind, so wird dadurch die Wirkung am unteren Ende des Magnets *a* eine stärkere. (Infolge der induzierenden Wirkung des Magnets *a* auf den Magnet *A*, kann in analoger Weise dargethan werden, dass die Wirkung des oberen Endes des Magnets *A* ebenfalls eine stärkere werden muss. (Siehe die Erkl. 85.)

Frage 48. Welche Folgerungen lassen sich aus der in voriger Antwort erwähnten Erscheinung schliessen?

Antwort. Aus der in voriger Antwort erwähnten Erscheinung kann man nachstehendes folgern, was sich auch durch Experimente darthun lässt:

1). Ist in der Fig. 32 der Magnet *A* in bezug auf den Magnet *a* sehr kräftig, so kann, infolge der magnetischen Induktion, welche der Magnet *A* auf den Magnet *a* ausübt, die magnetische Wirkung des unteren Endes des Magnets *a* aufgehoben werden, d. h. der daselbst durch Induktion hervorgerufene Magnetismus (Pol) kann ebensostark sein, als der ursprünglich vorhandene entgegengesetzte Magnetismus; beide Magnetismen können sich neutralisieren.

2). Unter derselben Voraussetzung wie unter 1). kann infolge der Induktion, welche der viel stärkere Magnet *A* auf den Magnet *a* ausübt, der ursprünglich am unteren Ende des Magnets *a* herrschende Magnetismus (Pol) in einen entgegengesetzten umgekehrt werden, was man experimentell durch das in nebenstehender Erkl. 86 angeführte Experiment beweisen kann.

Erkl. 86. Nähert man dem Südpol einer Probiernadel den Südpol eines starken Magnets, so wird der Südpol der Nadel, nach dem Gesetz der Polarität, dem Südpol des Magnets ausweichen. Hält man aber die Nadel fest, damit sich die induzierende Wirkung des starken Magnets auf die Nadel geltend machen kann, so wird man die umgekehrte Erscheinung wahrnehmen, indem widersprechend dem Gesetz der Polarität der gleichnamige Pol der Nadel angezogen wird. Dieser Widerspruch ist nur ein scheinbarer, weil infolge der magnetischen Induktion der Südpol der Nadel in einen Nordpol umgekehrt wurde.

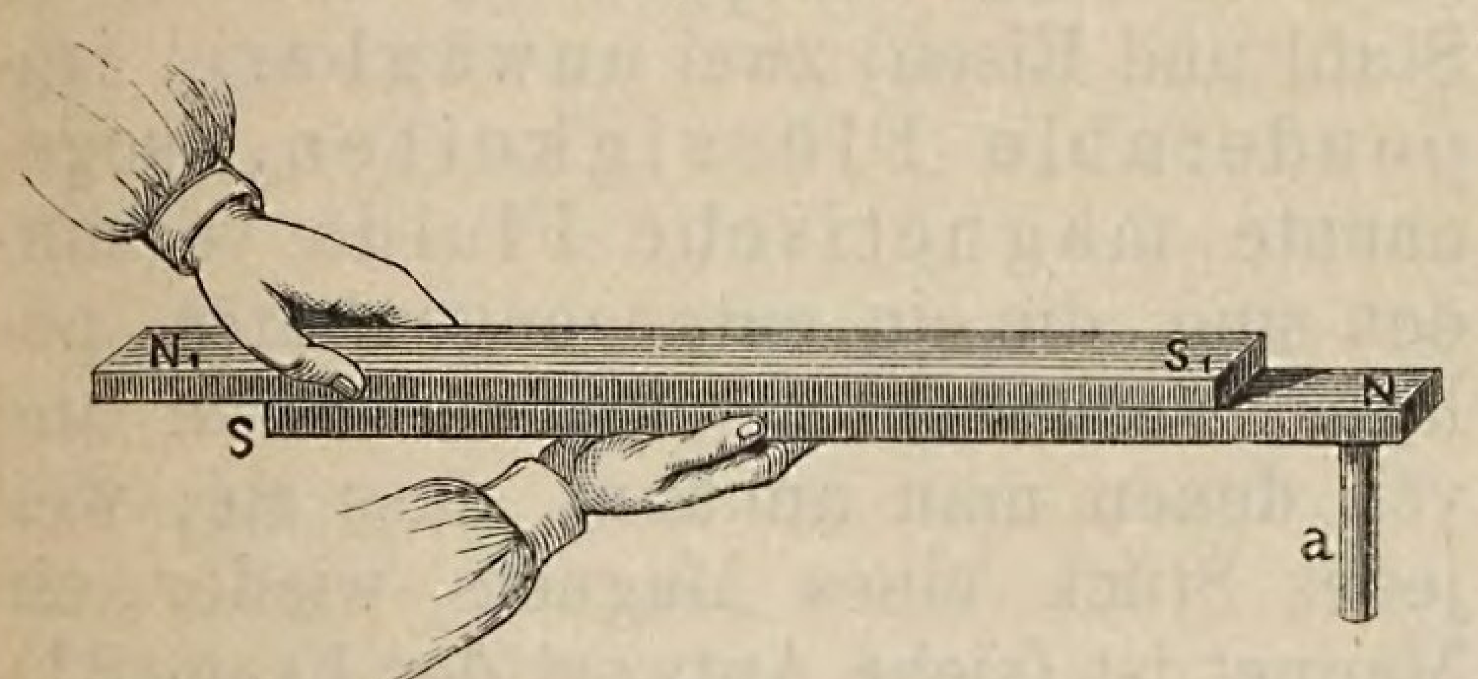
3). Durch Aneinanderfügen von Magnetstäben mit ihren ungleichnamigen Polen kann man längere und stärkere Magnete herstellen; so aneinandergefügte Magnete verhalten sich nach aussen wie ein einziger Magnet, dessen Indifferenzzone an der Stelle liegt, in welcher die Magnete zusammenstossen. Es ist

dies die umgekehrte Erscheinung, als wenn man einen Magnet zerbricht (siehe Antwort der Frage 31).

Frage 49. Welche Erscheinung findet statt, wenn man zwei Magnete
1). so aufeinanderlegt, dass ihre ungleichnamigen Pole, und
2). dass ihre gleichnamigen Pole aufeinander zu liegen kommen?

Erkl. 87. Hängt man an den einen Pol, z. B. an den Nordpol N eines horizontal gehaltenen Magnetstabes ein Eisenstückchen a und nähert, wie in der Figur 34 (und auch in Figur 18) angedeutet ist, jenem Nordpol den Südpol S_1 eines andern Magnets, so wird, weil sich die durch den Nordpol N und den Südpol S_1 vertretenen entgegengesetzten Magnetismen anziehen, binden, alsbald das Eisenstückchen a abfallen, d. h. die Wirkung der zusammengelegten entgegengesetzten Pole nach aussen wird aufhören.

Figur 34.



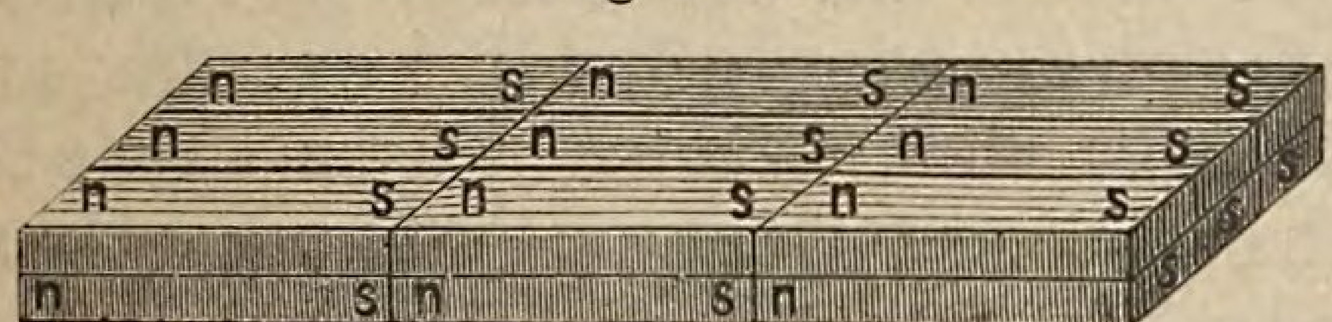
Antwort. Legt man zwei Magnete so aufeinander, dass 1). ihre ungleichnamigen Pole zusammenzuliegen kommen, so kann man die Erscheinung wahrnehmen, dass die Wirkung der zusammenliegenden Pole nach aussen sich bedeutend verringert hat, ja fast kaum noch wahrzunehmen ist, indem die in den ungleichnamigen Polen wirkenden entgegengesetzten Magnetismen sich gegenseitig anziehen und binden, somit ihre Wirkung nach aussen ganz oder teilweise aufheben. (Siehe die Erkl. 55 und 87.)

Legt man hingegen zwei Magnete so aufeinander, dass 2). ihre gleichnamigen Pole zusammenzuliegen kommen, so kann man die Erscheinung wahrnehmen, dass die Wirkung der zusammenliegenden Pole nach aussen sich bedeutend vermehrt hat, jedoch ist diese nach aussen wirkende Kraft nicht gleich der Summe der in den einzelnen Polen wirkenden Kräfte, weil jeder Magnetismus den gleichnamigen schwächt.

Frage 50. Welche Folgerung ergibt sich aus der in voriger Antwort erwähnten Erscheinung?

Erkl. 88. Nach den Antworten der Fragen 48 u. 50 kann man durch Aneinanderlegen von Magneten mit ihren ungleichnamigen Polen und durch Auf- und Nebeneinanderlegen mit ihren gleichnamigen Polen grössere und stärkere Magnete bilden (siehe Figur 35). Ein auf diese Weise zusammengesetzter Magnet gibt ein Bild von der in einem späteren Abschnitt vorgeführten molekülaren Konstitution der Magnete. (Siehe die Erkl. 94.)

Figur 35.



Antwort. Aus der unter 2). in voriger Antwort erwähnten Erscheinung ergibt sich die wichtige Folgerung, dass man durch Neben- und Aufeinanderlegen von Magneten grössere und stärkere Magnete bilden kann, wenn man dabei die gleichnamigen Pole dieser Magnete zusammenlegt. Hierauf beruht die Herstellung der sogenannten magnetischen Magazine. (Siehe die Erkl. 88.)

III.

Ueber das Wesen des Magnetismus.

(Hypothesen.)

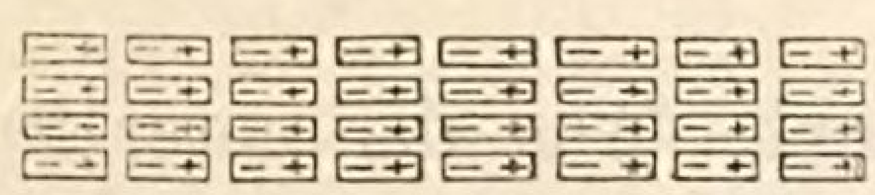
Frage 51. Auf welche Weise versuchte man sich die induzierende Wirkung eines Magnets auf ein Stück Eisen oder auf einen andern Magnet zu erklären?

Antwort. Um sich die induzierende Wirkung eines Magnets auf ein Stück Eisen oder auf einen andern Magnet zu erklären, machte man sich über das Wesen des Magnetismus alle möglichen Vorstellungen und stellte unter anderm, als die den Erfahrungen am nächsten kommenden, folgende Hypothesen auf:

Hypothese I. Die magnetischen Erscheinungen, bezw. die Anziehung des weichen und harten Eisens durch einen Magnet erklärte man sich dadurch, dass in allen Körpern (zuvörderst in Stahl und Eisen) zwei unwägbare, imponderable Flüssigkeiten, sogenannte magnetische Fluida vorhanden sind, die ein entgegengesetztes, polares, Verhalten zu einander haben und von denen man annahm, dass sie, weil jedes Stück eines Magnets wieder ein Magnet ist (siehe Antwort der Frage 31), in jedem Punkte (in jedem Moleküle) eines Magnets verteilt seien. Man nahm ferner an, dass diese gedachten magnetischen Fluida (Flüssigkeiten), welche also in oder um jedes Molekül oder Atom (siehe Erkl. 89) als vorhanden angenommen wurden, durch die induzierende (verteilende) Wirkung eines genäherten Magnets, also durch das Magnetisieren getrennt und in den entgegengesetzten Enden angehäuft würden, dass sich also die Wirkung des einen Fluidums in der Nordhälfte, des andern Fluidums in der Südhälfte des Magnets geltend mache. Dementsprechend bezeichnete man das eine Fluidum mit dem Namen nordmagnetisches oder nördliches, das andere mit dem Namen südmagnetisches oder südliches Fluidum; allgemein nannte man auch das nördliche Fluidum positives und bezeichnete es

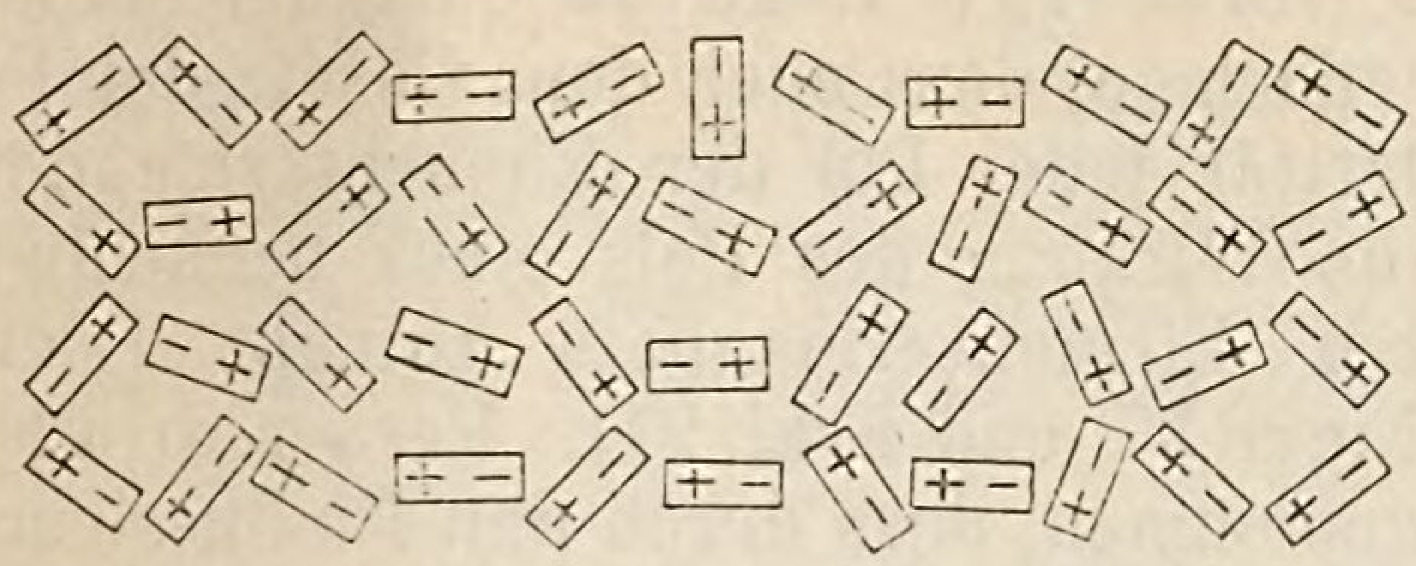
Erkl. 89. Die kleinsten unteilbaren Teilchen eines Körpers nennt man „Atome“ oder „Atomen“ (Atŏmi, v. gr. *a* = un, und témnō, ich scheide). Unter „Moleküle“ versteht man äusserst kleine Körperteilchen oder Partikelchen, zu denen man noch durch mechanische Trennung gelangen kann. Moleküle kann man sich aus Atomen zusammengesetzt denken.

Figur 36.



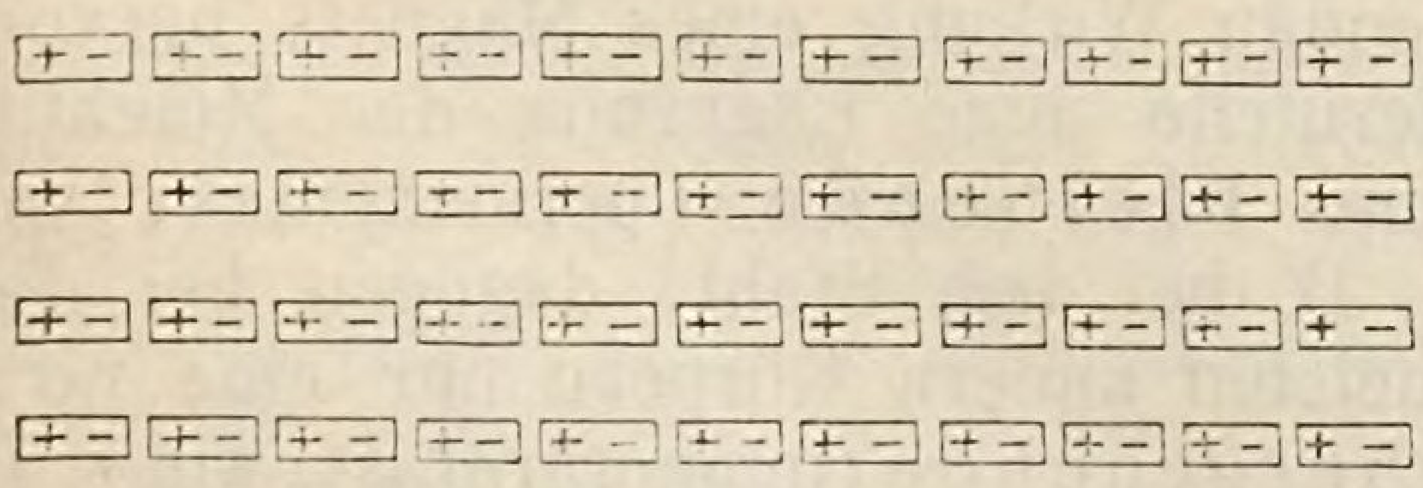
Erkl. 90. In der Figur 36 stellen die kleinen Rechteckchen Moleküle des Eisens dar; diese Rechteckchen hat man sich dementsprechend viel kleiner zu denken. Die Zeichen + und — stellen die entgegengesetzten magnetischen Fluida (Flüssigkeiten) dar, welche jene gedachten Moleküle umgeben und zwar stellt + das nordmagnetische und — das südmagnetische Fluidum dar.

Figur 37.



Erkl. 91. In den Figuren 37 u. 38 bedeuten die Rechteckchen ähnlich wie in der Figur 36 die Elementarmagnete, deren Nordpole mit den Zeichen + und deren Südpole mit den Zeichen — gekennzeichnet sind.

Figur 38.



Erkl. 92. Bei magnetisierten Stäben hat man eine Verlängerung derselben wahrgenommen, welche verschwindet, sobald der Magnetismus wieder aufgehoben wird. Dies deutet ebenfalls auf eine Umlagerung der Moleküle beim Magnetisieren.

durch „$+m$“ (positiver Magnetismus), das südliche Fluidum negatives und bezeichnet es durch „$-m$“ (negativer Magnetismus).

Da hiernach aber in der Mitte eines Magnets keine magnetische Kraft vorhanden wäre, also der Thatsache (und noch manchen andern Thatsachen) widersprochen würde, dass wenn man z. B. eine magnetisierte Stricknadel zerbricht, jedes Stück wieder zwei wirkende Pole hat, so vervollständigte man diese Hypothese dahin, indem man annahm, dass sich jene vorhandenen Fluida nicht von den einzelnen Molekülen des Eisens trennen können, wohl aber dass sie sich durch den Einfluss eines Magnets in den entgegengesetzten Enden der Moleküle ansammeln, und zwar so, wie die Fig. 36 zeigt, nämlich dass alle nördlichen (positiven) Flüssigkeitsteilchen nach einer, alle südlichen (negativen) nach entgegengesetzter Seite sich ansammeln würden. (Siehe Erkl. 90.)

Nach dieser Hypothese lassen sich, wie der französische Mathematiker und Physiker *Poisson* dargethan hat, die meisten magnetischen Erscheinungen erklären; die Annahme jedoch der dieser Hypothese zu Grunde gelegten unwägbaren Flüssigkeiten (Fluida), welche vielen unwahrscheinlich vorkam, führte den deutschen Physiker *Wilhelm Eduard Weber* (geb. in Wittenberg) dahin, die Annahme jener Fluida zu verlassen und stellte nachstehende einfachere Hypothese auf:

Hypothese II. In dieser Annahme ist die den Beobachtungen entsprechende Ansicht von der sogenannten Verteilung (Influenz, Induktion) des Magnetismus im Inneren beibehalten, nur ist die Annahme des Vorhandenseins der erwähnten unwägbaren Fluida weggelassen, dafür aber die einfachere Annahme substituiert, dass alle Moleküle des Stahls und Eisens (aller Körper) von Natur aus schon Magnete sind und Polarität besitzen.

Bezeichnet man dementsprechend die magnetischen Moleküle mit dem Namen: Molekularmagnete oder Elementarmagnete, so wird angenommen, dass im gewöhnlichen, scheinbar unmagneti-

schen Zustande eines Körpers (Eisens) die magnetischen Axen aller dieser Elementarmagnete eine verworrene unregelmässige Lage zu einander haben, jedoch so, dass nach dem Gesetz der Polarität jeder Pol der Elementarmagnete die Wirkung des Pols eines benachbarten Elementarmagnets aufhebt (siehe Figur 37 und Erkl. 91). Ferner wird angenommen, dass durch den Einfluss eines genäherten Magnets die Axen jener Elementarmagnete ihrer Richtung nach andere Lagen annehmen, mithin auch eine solche Lage annehmen können (siehe Figur 38), dass diese Axen gleichgerichtet (oder doch möglichst gleichgerichtet) sind und zwar so, dass alle Nordpole der Elementarmagnete nach einer Seite, alle Südpole aber nach der entgegengesetzten Seite gerichtet sind und dass die Gesamtwirkung der in dieser Weise nach jeder Seite hin gleichgerichteten Pole gleich der Gesamtwirkung des nach aussen wirkenden, also des freien Magnetismus jenes Körpers (Eisens), bezw. des auf solche Weise durch Induktion hergestellten Magnets ist. (Siehe die Erkl. 92—95.)

Ferner nimmt man an, dass der Zusammenhang (die Kohäsion) der einzelnen Moleküle nur bei einigen Körpern bedingt, dass die infolge der induzierenden Wirkung eines Magnets hervorgerufene neue Lagerung der Moleküle eine bleibende (permanente), wie z. B. bei dem Stahl, dagegen bei den meisten andern Körpern nur eine vorübergehende (temporäre) ist, wie z. B. bei dem weichen Eisen. (Siehe die Erklärung 96.)

Diese Hypothese stimmt am besten mit allen Erfahrungen überein und lässt sich auch noch durch folgendes Experiment beweisen: Füllt man eine Glasröhre von recht dünner Wandung, oder ein einfach zusammengeleimtes Papierröhrchen mit Stahlfeilspähnen, verschliesst diese Röhre beiderseitig mit einem Kork und bringt die Enden dieser Röhre in die Nähe einer Probiernadel, so wird man die Wahrnehmung machen, dass an jedem Teil der Röhre eine gleich starke

Erkl. 93. Beim plötzlichen Magnetisieren und Umkehren der Pole hat man eine Erwärmung wahrgenommen, die ebenfalls auf die Umlagerung der Moleküle zurückzuführen ist.

Erkl. 94. Die mittels Hypothese II begründete Art der Herstellung eines Magnets durch Induktion, nämlich die Gleichrichtung der gleichnamigen Pole der Molekülar- oder Elementarmagnete infolge der Induktion wird durch die in Figur 35 dargestellte Zusammenlegung von gleichen Magnetstäben mit ihren ungleichnamigen Polen vollauf bestätigt. Ebenso wird dies bestätigt durch Zerbrechen einer magnetisierten Stricknadel, indem jedes einzelne Stück der Stricknadel einen Magnet vorstellt, dessen Pole mit den gleichnamigen Polen der ganzen Stricknadel gleichgerichtet sind.

Erkl. 95. Beim plötzlichen Hervorrufen und Umkehren der Polarität an weichem Eisen durch elektrische Ströme (siehe das Kapitel: „Der Elektromagnetismus") hört man ein deutliches Tönen, was nur eine Folge der Schwingungsbewegung des Eisens sein und auf die Umlagerung der Moleküle desselben zurückgeführt werden kann.

Erkl. 96. Hierdurch erklärt sich der permanente Zustand des magnetisierten Stahls und der temporäre des magnetisierten weichen Eisens.

Erkl. 97. Nach dem durch die Hypothese II erklärten Wesen des Magnetismus kann man nunmehr die „Koercitivkraft" wie folgt definieren:

Unter „Koercitivkraft" versteht man den Widerstand, welchen die einzelnen Moleküle der Drehung entgegenstellen, die jedes der Moleküle (infolge des Einwirkens eines Magnets) machen muss, damit diese Moleküle eine dem magnetischen Zustand entsprechende Lagerung (siehe Figur 38) annehmen.

Die geringe Koercitivkraft beim weichen Eisen erklärt sich nach der Hypothese II dadurch, dass die Moleküle desselben mit der grössten Leichtigkeit eine bezüglich ihrer magnetischen Axen parallele Lagerung annehmen, sofort aber wieder verlassen.

Die grössere Koercitivkraft des harten Eisens und Stahls erklärt sich nach der Hypothese II dadurch, dass die einzelnen Moleküle desselben, der Einwirkung, nach welcher ihre magnetischen Axen parallel gestellt werden sollen, einen grösseren Widerstand entgegensetzen. Ist beim harten Stahl der Widerstand aber überwunden, so beharren die einzelnen Moleküle in ihrer neuen Lage und ändern diese Lage nur infolge neuer Ursachen.

Erkl. 98. Nach der Hypothese II ergibt sich, dass die Koercitivkraft mit der Kraft, mit welcher die einzelnen Moleküle zusammenhängen, nämlich mit der „Kohäsionskraft" in Wechselwirkung stehen. (Siehe die Erkl. 80.)

Erkl. 99. Die nebenstehende Hypothese II, nach welcher die Moleküle einer Bewegung fähig sind, lässt sich auch durch Vergleichung mit andern in der Natur vorkommenden ähnlichen Vorgängen, wie z. B. mit der Kristallisation, bei welcher auch die einzelnen Moleküle Bewegungen machen, indem sie eine gewisse gegenseitige Lagerung annehmen, als die richtigere erkennen.

Anziehung, aber nirgends eine Abstossung erfolgt. Magnetisiert man aber die Glasröhre, bezw. die darin enthaltenen Eisenteilchen, indem man mit einem starken Magnetstab die Röhre 10 bis 12 mal stets in einer Richtung der Länge streicht (siehe den Abschnitt, welcher über die Herstellung der künstlichen Magnete handelt), dabei die Röhre in der Hand langsam umdreht, damit alle Seiten gleichmässig magnetisch werden, und nähert dann die Röhre einer Probiernadel, so wird der Nordpol der Nadel von der einen Hälfte der Röhre angezogen, von der andern Hälfte der Röhre aber abgestossen, d. h. die Röhre hat die ganzen Eigenschaften eines Magnets angenommen. Schüttelt man jetzt die Röhre, damit die Stahlspähne andre Lagen annehmen, so hört diese magnetische Polarität auf und es wird wieder an jeder Stelle der Röhre jeder Pol der Nadel angezogen. Hieraus lässt sich schliessen, dass durch den Einfluss des streichenden, des induzierenden Magnets, die Lagerung der Stahlspähnchen eine solche wurde, dass die gleichnamigen Pole dieser Elementarmagnete (Spähnchen) gleichgerichtet wurden, beim Schütteln aber wieder eine verworrene Lage angenommen haben und zwar so, dass die Wirkung eines jeden der Elementarmagnete von einem benachbarten aufgehoben wird. (Siehe die Erklärungen 92 bis 99.)

Eine weitere Hypothese über das Wesen des Magnetismus ist folgende:

Hypothese III. Der französische Mathematiker *Ampère* stellte über das Wesen des Magnetismus die Theorie auf, dass jedes Molekül eines paramagnetischen Körpers als von einem permanenten elektrischen Strom umflossen zu denken sei, und dass die Magnetisierung solcher Körper in der Drehung der Moleküle bestände, infolge deren die elektrischen Ströme parallel gleichgestellt und gleichgerichtet werden. Diese Theorie ist in dem Kapitel „Der Elektromagnetismus" erläutert.

IV.
Ueber die Herstellung künstlicher Magnete.

1). Allgemeines über die Herstellung künstlicher Magnete.

Frage 52. Worauf beruht die Herstellung der künstlichen Magnete?

Antwort. Die Herstellung der künstlichen Magnete beruht auf der Erregung des in allem Eisen von Natur aus vorhandenen gebundenen Magnetismus mittels der induzierenden Wirkung eines andern Magnets; infolge deren nach Hypothese II die Molekül-, Elementarmagnete des Eisens mit ihren gleichnamigen Polen gleichgerichtet werden, also das innere Gefüge eine Veränderung erleidet.

Frage 53. Auf welche Arten kann man die Erregung des im Eisen von Natur aus vorhandenen gebundenen Magnetismus bewerkstelligen?

Antwort. Die Erregung des im Eisen von Natur aus vorhandenen gebundenen Magnetismus kann man auf folgende vier Arten bewerkstelligen:

1). durch die induzierende Wirkung eines kräftigen Magnets, und zwar:

a) bei weichem Eisen durch Annäherung (siehe Fig. 21, Seite 21);

b) bei weichem und hartem Eisen durch Berührung und zwar bei letzterem durch längere Berührung (siehe Figur 19 u. 20, Seite 19 u. 20 und die Erkl. 73);

c) bei weichem und hartem Eisen durch Berührung und Streichung mittels eines kräftigen Magnets, welche Art der Herstellung künstlicher permanenter Magnete von den bis jetzt erwähnten Arten die ausgiebigste ist, indem hierdurch an allen Stellen des Eisens die Elementarmagnete am vollständigsten mit ihren gleichnamigen Polen gleichgerichtet werden;

2). durch die induzierende Wirkung des Erdmagnetismus, siehe den Abschnitt „Der Erdmagnetismus“ und Erkl. 101;

Erkl. 100. Den durch Annäherung, Berührung und Streichung erregten Magnetismus nannte man früher:

„Magnetismus durch Verteilung“,

den durch den Erdmagnetismus erregten Magnetismus nannte man:

„Magnetismus der Lage“,

den durch elektrische Ströme erregten Magnetismus nennt man:

„Elektromagnetismus“.

Erkl. 101. Eine Eisenstange vertikal aufgehängt, wird infolge der induzierenden Wirkung des Erdmagnetismus schwach magnetisch. Durch einen Hammerschlag auf das obere Ende des Stabes, wodurch die durch den Erdmagnetismus angestrebte Drehung der Elementmagnete unterstützt wird, kann man den Stab dauernd magnetisch machen.

3). durch die induzierende Wirkung elektrischer Ströme, mittels deren die kräftigsten Magnete hergestellt werden können, wie in dem Kapitel „Der Elektromagnetismus" gezeigt wird und

4). kann der gebundene Magnetismus erregt werden, jedoch nur in sehr schwacher Form, durch Erschütterungen, als Feilen, Sägen, Hämmern, Rosten (durch das Rosten wird nämlich auch eine Veränderung des inneren Gefüges hervorgerufen) etc. Dass durch Erschütterungen Magnetismus erregt werden kann, erkennt man unter anderm an den Eisenbahnschienen, die fast durchweg magnetisch sind. (Siehe die Erkl. 100 und 101.)

Frage 54. Was versteht man unter temporären, was unter permanenten Magneten?

Erkl. 102. Das lateinische Wort „temporär" heisst zeitweilig, vorübergehend. Das lateinische Wort „permanent" heisst fortwährend, bleibend.

Antwort. Benutzt man zur Herstellung künstlicher Magnete weiches Eisen, so erhält man Magnete, die nur so lang ihre magnetischen Eigenschaften bewahren, als sie durch direkte Berührung der induzierenden Wirkung des den Magnetismus erregenden Magnets ausgesetzt sind und deshalb „temporäre" Magnete genannt werden. Benutzt man hartes Eisen oder Stahl, so erhält man Magnete, die ihre magnetischen Eigenschaften auch nach der Entfernung des induzierenden Magnets dauernd beibehalten und deshalb „permanente" Magnete genannt werden. (Siehe Antw. der Frage 39 und die Erkl. 71, Seite 21.)

2). Ueber die Beschaffenheit des bei Herstellung künstlicher Magnete zu verwendenden Eisens.

Frage 55. Wie muss das Material beschaffen sein, welches man zur Herstellung permanenter künstlicher Magnete verwendet?

Erkl. 103. Aehnlich wie das magnetische Verhalten des Stahls ist das des „Magnet-

Antwort. Bei der Herstellung permanenter Magnete kann nach voriger Antwort niemals von Eisen, sondern nur von „Stahl" (hartem Eisen, hartem Stahl) die Rede sein (siehe Erkl. 103).

Der verwendete Stahl muss glatt und rein sein. Je härter der Stahl ist, um so grösser ist seine Koercitivkraft und

desto dauerhafter ist der daraus hergestellte Magnet.

Ganz harter, sogenannt „glasharter" Stahl ist insofern für Magnetstäbe und Hufeisenmagnete nicht zu empfehlen, als er infolge seiner Härte zu spröde, also zu leicht zerbrechlich ist und weil auch beim Magnetisieren eines solchen Stahlstücks sehr leicht Zwischenpole innerhalb der Hauptpole, sogenannte „Folgepunkte" entstehen (siehe hierüber den folgenden Abschnitt 3), was ganz besonders bei den Magnetnadeln vermieden werden muss, und weil ausserdem in sehr hartem Stahl die Koercitivkraft sehr stark, mithin das Magnetisieren beschwerlich ist. Glasharten Stahl lässt man deshalb wieder an, d. h. man erwärmt ihn allmählich über einem Kohlenfeuer, wodurch er von seiner Härte verliert, bis er eine blaue oder grünlich blaue, sogen. Wasserfarbe zeigt (siehe Erkl. 104 u. 105).

Infolge des Anlassens, bezw. dadurch, dass der Stahl weicher wird, verliert der Stahl an seiner Koercitivkraft (siehe die Erkl. 105 u. 80), behält aber immer noch genügend, als zur Herstellung eines permanenten Magnets nötig ist. Ein bis zur grünlich-blauen Farbe angelassener Stahl eignet sich der Erfahrung gemäss am besten für einen künstlichen Magnet.

Der Elektromagnetismus liefert jetzt Mittel, um die härtesten Stahlstäbe auf die ausgiebigste Weise zu magnetisieren.

Nicht jede Sorte Stahl eignet sich zur Herstellung künstlicher Magnete, so ist der englische Gussstahl gar nicht zu Magneten geeignet (neuerdings machte man die Entdeckung, dass sich Gussstahl ebenfalls durch Härten zur Herstellung künstlicher Magnete verwenden lässt), während der in Norddeutschland oft vorkommende sogen. holländische Brillenstahl und der Solinger Klingenstahl gute Magnete abgeben. Zu Magnetnadeln benützt man dünnes Stahlblech oder, was noch besser ist, starke Uhrfedern.

Hieraus ist ersichtlich, dass die Schwierigkeit der Herstellung sehr kräftiger Magnete in dem Stahle selbst, also in

eisensteins"; er ist fähig, bleibenden Magnetismus anzunehmen.

Erkl. 104. Glasharten Stahl erhält man, wenn glühender Stahl rasch in kaltem Wasser abgelöscht wird.

Erkl. 105. Bei dem Anlassen, bezw. bei der allmählichen Erwärmung, glasharten Stahls über einem Kohlenfeuer verliert er von seiner Härte und zwar um so mehr, je stärker er erwärmt wird. Die verschiedenen Stadien der hierdurch erreichten geringeren Härte, d. i. der Grad des Anlassens, werden nach der Farbe der Oxydschicht, mit der sich glatter und blanker Stahl bei seiner Erwärmung überzieht, beurteilt. Allmählich erwärmter glasharter Stahl nimmt ungefähr bei 200° Celsius eine strohgelbe, bei fortgesetzter Erwärmung eine orange, dann dunkelorange, dann violettrote, dann blaue, und dann ungefähr bei 450° Celsius eine grünlich-blaue, sogenannte Wasserfarbe an, und bei diesem Grad des Anlassens eignet er sich am besten zur Herstellung künstlicher Magnete. Wobei nochmals bemerkt sei, dass der Zweck des Anlassens, des Weichermachens des Stahls, nur der ist, demselben seine Sprödigkeit, einen Teil seiner Koercitivkraft zu nehmen.

Wird der Stahl oder auch ein Magnet bis zum Rotglühen erwärmt, so verliert der Stahl seine ganze Koercitivkraft, der Magnet seine magnetische Kraft, und beide verhalten sich wie weiches Eisen. (Siehe den Abschnitt: „Ueber die Schwächung des Magnetismus".)

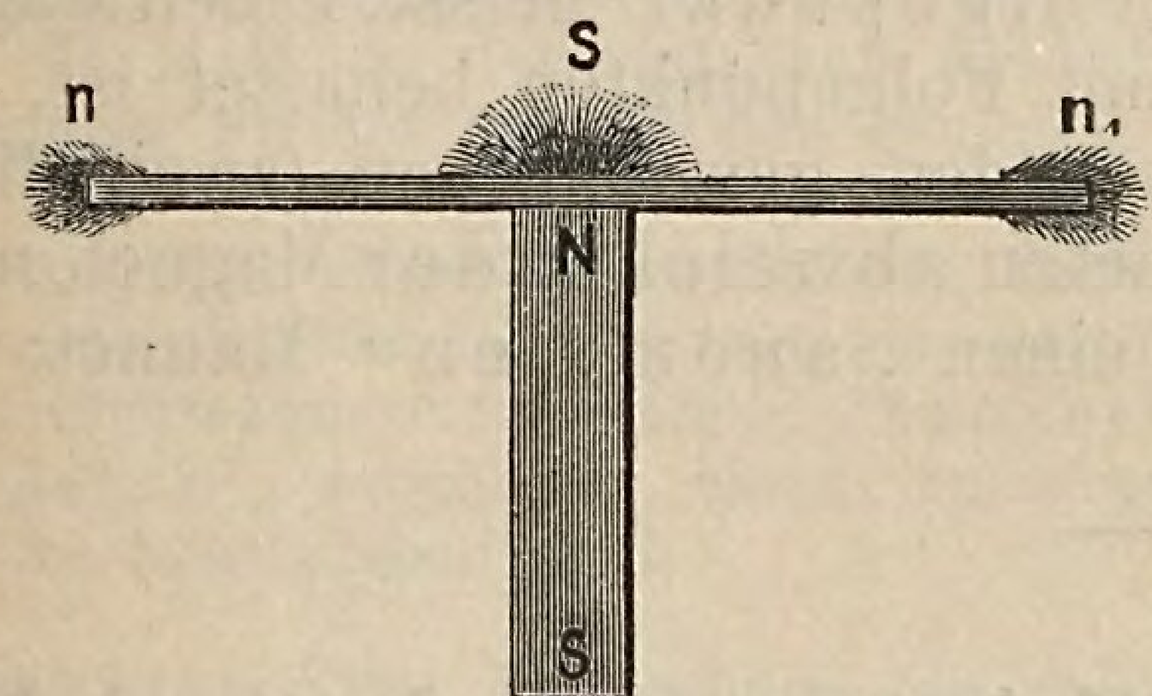
Erkl. 106. Stahlstäbe und Hufeisen werden nach der Bearbeitung gehärtet und dann wenigstens purpurrot, violett oder dunkelblau angelassen.

der Stahlbereitung liegt, indem man erkannte, dass sich zu magnetischen Zwecken eine Stahlsorte um so mehr eignet, je mehr Kohlenstoff dieselbe enthält. (Siehe die Erkl. 103—106.)

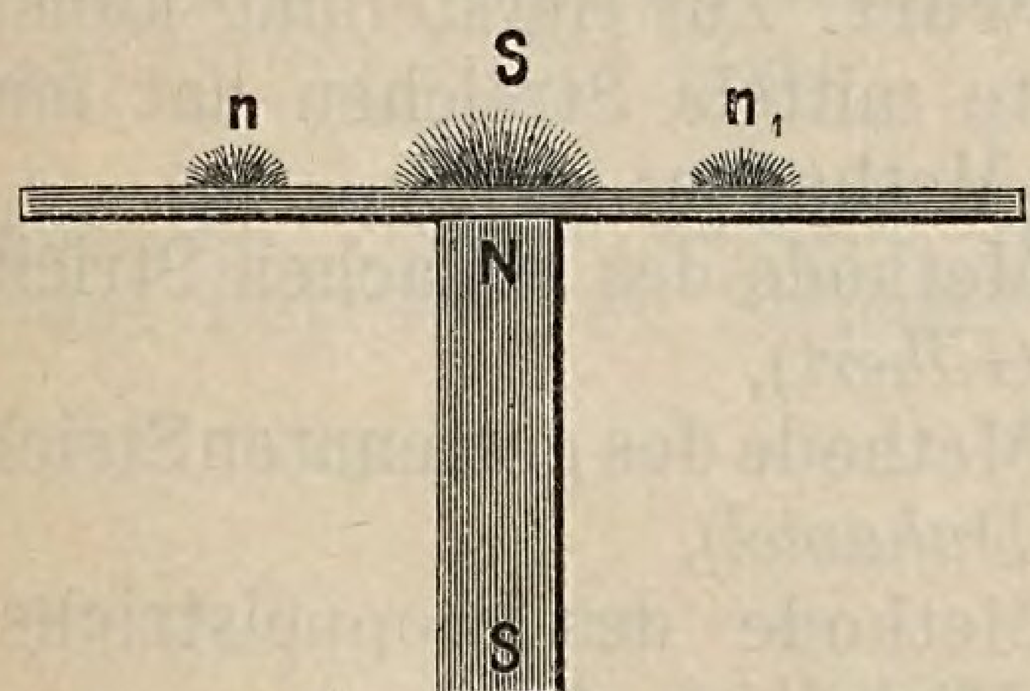
3). Ueber die anomalen Magnete.

Frage 56. Was versteht man unter einem anomalen Magnet?

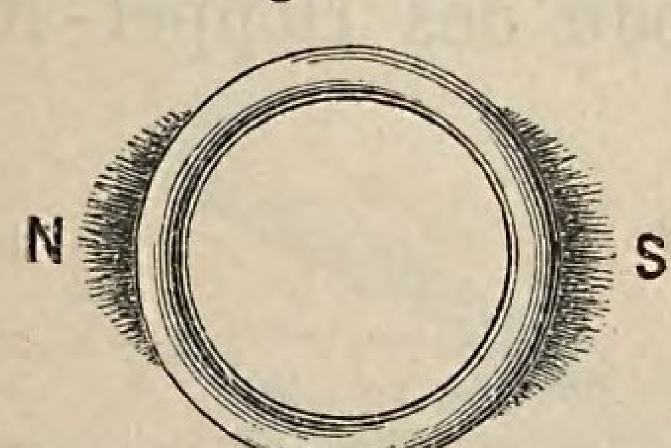
Figur 39.



Figur 40.



Figur 41.



Erkl. 107. Die in nebenstehender Antwort gegebene Erklärung der Folgepunkte ist ein Beweis, dass sich zwei mit gleichnamigen Polen zusammengelegte Magnete in ihrer Wirkung nach aussen gegenseitig stärken.

Erkl. 108. Aus dem durch die Figur 40 dargestellten Experiment und aus nebenstehen-

Antwort. Berührt man, wie die Figur 39 zeigt, einen weichen Eisenstab in der Mitte mit einem Pole, z. B. mit dem Nordpol eines kräftigen Magnets, und streut auf den Eisenstab Eisenfeile, so findet man, dass in der Mitte und an den Enden die Eisenfeile hängen bleibt. Nähert man diesen drei Stellen eine Magnetnadel, so findet man, dass die Stelle, wo die Berührung stattfindet, ein dem berührenden Pol entgegengesetzter, also ein Südpol ist, und dass an den beiden Enden zwei mit dem berührenden Pol gleichnamige, also zwei Nordpole, sogenannte Nebenpole, entstanden sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der an der berührenden Stelle erregte Magnetismus nach dem Gesetz der Polarität Südmagnetismus sein muss und dass sich die hierdurch bedingte magnetische Lagerung der Moleküle, ähnlich wie in dem durch die Figur 21 dargestellten Experiment gezeigt ist, so nach beiden Seiten hin weiter verbreitet, dass die an den Enden hervorgerufenen Pole jenem Pol entgegengesetzte, also Nordpole sind.

Der weiteren Verbreitung (Induktion) des durch die Berührung erregten Magnetismus wirkt die Koercitivkraft entgegen, welche bei weichem Eisen sehr gering ist, weshalb jene Nebenpole, auch bei einem ziemlich langen Stab, an die Enden zu liegen kommen. Wird der berührende Magnet weggenommen, so verschwinden die hervorgerufenen Pole wieder.

Wählt man nun anstatt eines weichen Eisenstabes einen Stahlstab, bei welchem die Koercitivkraft grösser ist, so treten jene gleichartigen Nebenpole, wie

der Antwort ergibt sich, dass ein Pol im allgemeinen Sinne nur eine Stelle ist, von der nach beiden Seiten hin die Wirkung des Magnetismus nach aussen hin abnimmt.

Beim Stahl kann man jede Stelle durch Berührung mit einem kräftigen Magnet zu einem dauernden Pole machen. Man kann mittels entsprechender Berührung eines kräftigen Magnets unter anderm einen Ring, wie die Figur 41 zeigt, mit zwei Polen versehen; man kann auf einer Stahlplatte einen sogenannten Zentralpol herstellen, welcher ringsum von Nebenpolen umgeben ist; man kann sogenannte Transversalmagnete herstellen, in welchen zwei diametral gegenüberliegende Kanten die Pole bilden etc. Bei allem diesem wird von einer parallelen Lagerung sämtlicher Moleküle abstrahiert, d. h. der so hergestellte Magnet darf nur durch Berührung mittels eines andern hergestellt, also wie man zu sagen pflegt, nicht vollständig „gesättigt" sein. (Siehe den Abschnitt, welcher über den Sättigungspunkt handelt.)

Figur 40 zeigt, nicht an den Enden, sondern näher an der Berührungsstelle auf; entfernt man nach längerer Berührung den berührenden Magnet, so hat man einen Magnet mit drei inneren Polen: einen stärkeren Pol in der Mitte und zwei schwächere unter sich gleichnamige Pole zu beiden Seiten. Den auf diese Weise hergestellten dreipoligen Magnet kann man sich zusammengesetzt denken aus zwei Magneten nS und $n_1 S$, die mit ihren gleichnamigen Polen zusammenliegen und einen stärkeren Pol bilden (siehe Erkl. 107), der zugleich die Trennung dieser beiden Magnete bildet und „Folgepunkt" heisst. Einen Magnet, der mit Folgepunkten behaftet ist, also ein von den gewöhnlichen (zweipoligen) Magneten abweichender Magnet, nennt man einen „anomalen" Magnet.

4). Ueber die Methoden der Magnetisierung durch Streichen.

Frage 57. Welches sind die Methoden zur Herstellung künstlicher Magnete mittels Streichen?

Erkl. 109. Beim Herstellen künstlicher Magnete ist es gut, wenn man sich über den Zweck vergewissert, welchem der Magnet dienen soll. Im allgemeinen kann man sich merken: Stabmagnete brauchen nicht sehr stark zu sein, müssen aber ihre magnetische Kraft dauernd bewahren; dasselbe gilt von den Magnetnadeln. Hufeisenmagnete müssen meist kräftig sein, es ist bei denselben aber nicht nötig, dass sie ihre magnetische Kraft dauernd bewahren, indem es für dieselben besser ist, wenn sie von Zeit zu Zeit wieder gestrichen werden, weil sie dadurch stetig etwas kräftiger werden.

Erkl. 110. Die zum Streichen benutzten Magnete büssen infolgedessen nichts von ihrer magnetischen Kraft ein; dies ist ein Beweis, dass das Magnetisieren nicht in einem Ueberströmen der magnetischen Kraft besteht, da in diesem Falle die neuen Magnete auf Kosten der alten entstehen würden und somit an Kraft verlieren müssten. (Siehe Antw. der Frage 42, Seite 22.)

Antwort. Zur Herstellung künstlicher Magnete mittels Streichen hat man folgende Methoden:

1). Methode des einfachen Strichs (von *Gilbert*),
2). Methode des getrennten Strichs (von *Duhamel*),
3). Methode des Doppelstrichs (von *Michell & Aepinus*),
4). Methode des einfachen Kreisstrichs (von *Moser*),
5). Methode des Doppel-Kreisstrichs.

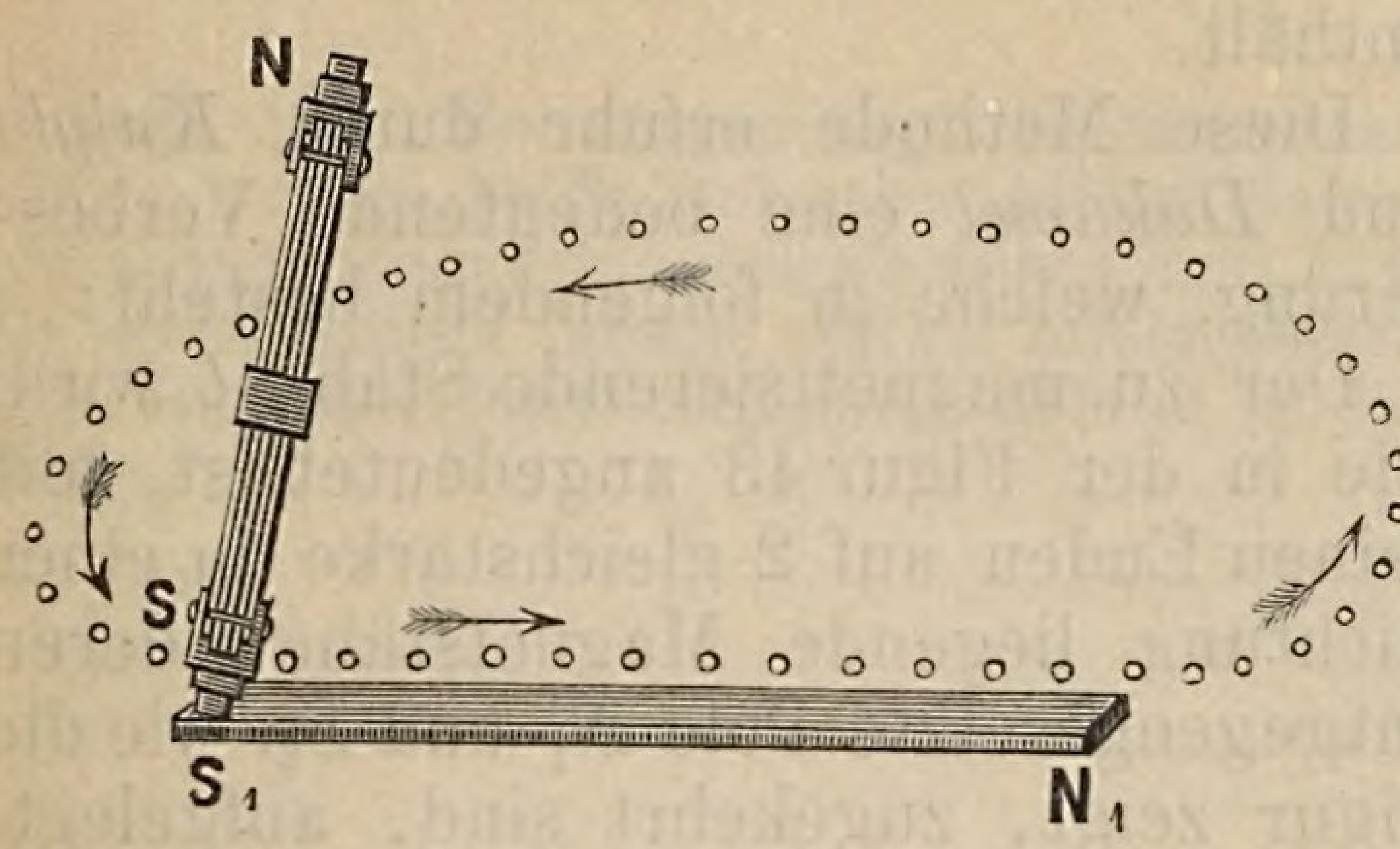
Frage 58. Worin besteht die Methode des einfachen Strichs?

Erkl. 111. Zu den Methoden des einfachen Strichs gehört jedes Verfahren, bei welchem

Antwort. Die Methode des einfachen Strichs besteht darin, dass man zunächst, wie auch bei allen folgenden Streich-

über *jede* Stelle des Magnets nur mit *einem* Pole gestrichen wird.

Figur 42.



Erkl. 112. Zum Magnetisieren dünner Stahlstäbchen, wie Magnetnadeln und Stricknadeln wird die Methode des einfachen oder die des getrennten Strichs vollkommen genügen.

Erkl. 113. Beim Magnetisieren von Stahlstäben durch Streichen benutzt man gewöhnlich als Streichmagnete sogenannte „*magnetische Magazine*“, welche in einem späteren Abschnitte beschrieben sind.

Erkl. 114. Bei Anwendung des erwähnten einfachen Strichs wird man die Wahrnehmung machen, dass das *letztberührte* Stabende einen *anscheinend* stärkeren Pol hat und dass infolgedessen auch der Indifferenzpunkt nicht ganz *in der Mitte* liegt.

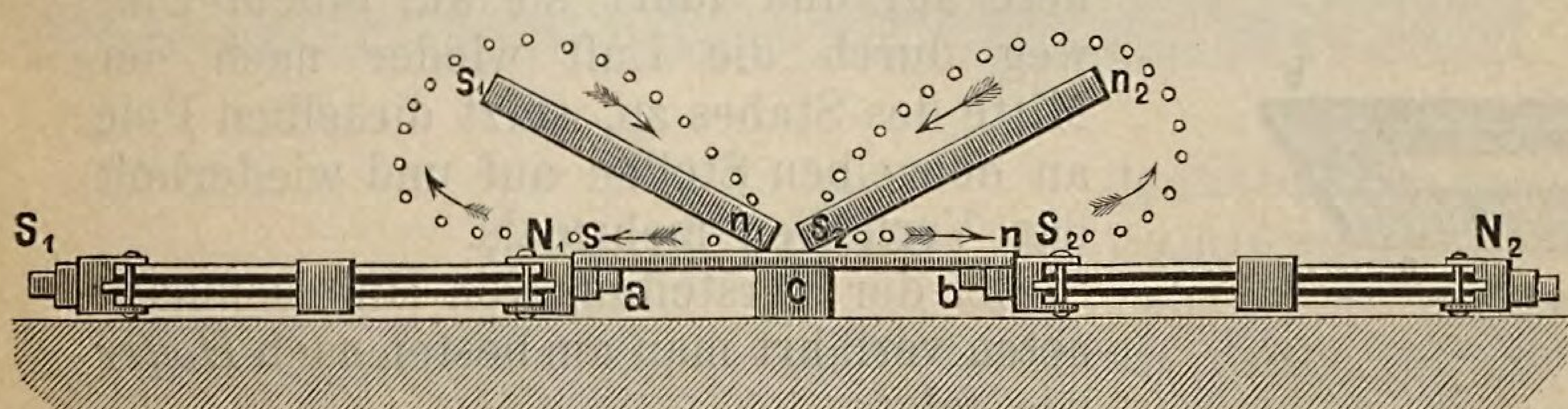
methoden, den zu magnetisierenden Stahlstab *flach* auflegt; dann den sogenannten Streichmagnet mit einem Pol *auf einem Ende* des Stahlstabes aufsetzt und mit mässiger Geschwindigkeit und stetem aber mässigem Druck nach dem andern Ende des Stahlstabes führt, daselbst absetzt und wie in der Figur 42 angedeutet ist, auf einem Umweg durch die Luft zum ersten Ende des Stabes zurückkehrt, daselbst *denselben* Pol des Magnets wie vorher aufsetzt (der streichende Magnet darf also nicht *umgekehrt* werden) und auf diese Weise das Streichen mehreremale wiederholt. Ein einziger *falscher* (entgegengesetzter) Strich hebt die frühere Wirkung wieder auf. Man erhält auf diese Weise einen der Arbeit entsprechenden (das Verfahren muss ungefähr 20—30mal wiederholt werden) verhältnismässig schwachen Magnet. Die Pole des so erhaltenen Magnets liegen so, dass das Ende des magnetisierten Stahlstabes, an welchem der Pol des Magnets aufgesetzt wurde, ein diesem Pol *gleichnamiger* ist. (Siehe die Erkl. 112—114.)

Frage 59. Worin besteht die Methode des *getrennten* Strichs?

Antwort. Die Methode des getrennten Strichs besteht in folgendem:

Man verfährt genau so wie bei der Methode des einfachen Strichs, nur setzt man den Pol des Streichmagnets *in der Mitte* des zu magnetisierenden Stabes auf, streicht wie in voriger Antwort angegeben mehreremale nach einem und demselben Ende des Stabes; dann setzt man den *andern* Pol des Streichmagnets ebenfalls in der Mitte auf und streicht ebensooft nach dem andern Ende des Stabes. Die Pole des so magnetisierten Stabes haben eine solche Lage, dass das Ende des Teils des Stabes, welcher von dem Nordpol des Streichmagnets gestrichen wurde, den

Figur 43.



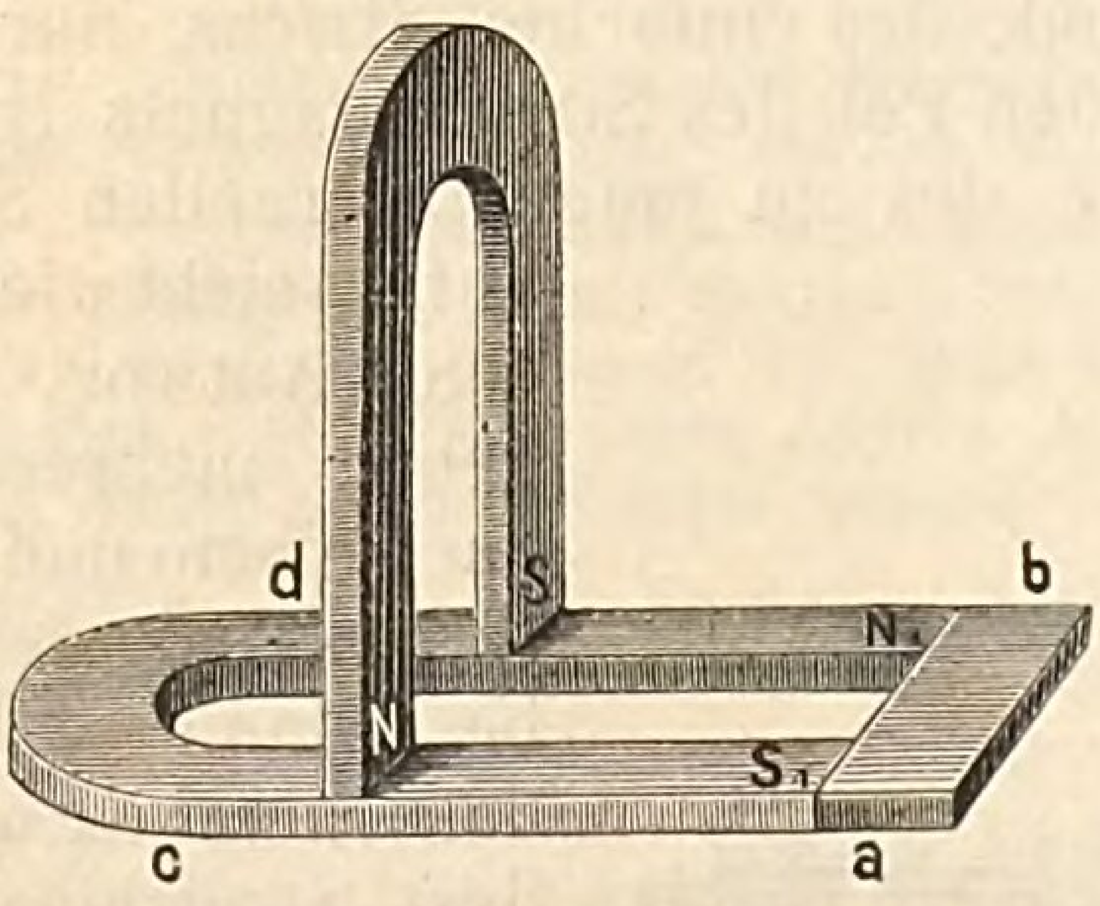
Südpol, und dass das Ende des andern Teils des Stabes, welcher an dem Südpol des Streichmagnets gestrichen wurde, den Nordpol des magnetisierten Stabes enthält.

Diese Methode erfuhr durch *Knight* und *Duhamel* eine bedeutende Verbesserung, welche in folgendem besteht:

Der zu magnetisierende Stab *ab* wird, wie in der Figur 43 angedeutet ist, mit seinen Enden auf 2 gleichstarke in einer Richtung liegende Magnetstäbe, deren entgegengesetzte Pole N_1 und S_2, wie die Figur zeigt, zugekehrt sind, aufgelegt, wobei die Mitte des Stabes, wenn solcher dünn ist, noch durch einen Holzklotz *c* unterstützt werden kann. Dann setzt man in der Mitte des Stabes zwei gleichstarke Streichmagnete mit ihren ungleichnamigen Polen so auf, dass 1). sie sich nicht berühren, dass 2). die gleichnamigen Pole dieser aufgesetzten und der beiden unteren Magnete auf einer lei Seite zu liegen kommen, und dass 3). jeder der Stäbe gegen den zu magnetisierenden Stab, wie die Figur zeigt, unter einem Winkel von ca. 30 ° geneigt ist (wodurch sich deren Wirkung mehr in der zu erzielenden Richtung der Moleküle geltend macht), und streicht bei gleichmässiger Geschwindigkeit und stetem, mässigem Druck mit dem einen Magnet nach dem einen Ende, zu gleicher Zeit aber auch mit dem zweiten Magnet nach dem andern Ende des Stabes so hin, dass die Magnete an beiden Enden zu gleicher Zeit ankommen. An den Enden hebt man alsdann die Magnete auf und führt sie auf einem Umweg durch die Luft wieder nach der Mitte des Stabes zu, setzt dieselben Pole an denselben Stellen auf und wiederholt das Verfahren mehrmals.

Erkl. 115. Zur Herstellung von Magnetnadeln und Magnetstäben, die nicht besonders dick (ca. 5 mm) sind, ist die Methode des getrennten Strichs ganz besonders geeignet.

Figur 44.



Bei der Herstellung von Hufeisenmagneten verfährt man am besten nach *Hoffer* wie folgt:

Einem horizontal liegenden Hufeisen, siehe Figur 44, legt man eine passende Platte *ab* von weichem Eisen an; dann setzt man einen Hufeisenmagnet, der mit dem zu magnetisierenden Hufeisen gleiche Breite haben muss,

am Anfange *cd* des Bogens auf und streicht mehrmals, wie die Figur zeigt, nach den Enden der Schenkel des Hufeisens, bezw. nach dem angelegten weichen Eisenstück zu. Ist man nicht im Besitze eines Hufeisenmagnets, der mit dem zu magnetisierenden Hufeisen gleiche Breite hat, so benutzt man einen kräftigen Stabmagnet (oder ein Magazin) und streicht den einen Schenkel, wie vorhin angedeutet, mit dem einen Pol jenes Stabmagnets, den zweiten Schenkel aber mit dem andern Pol. (Siehe in betreff der Streichung von Hufeisen auch die Methode des Kreisstrichs und die Erkl. 115 u. 116.)

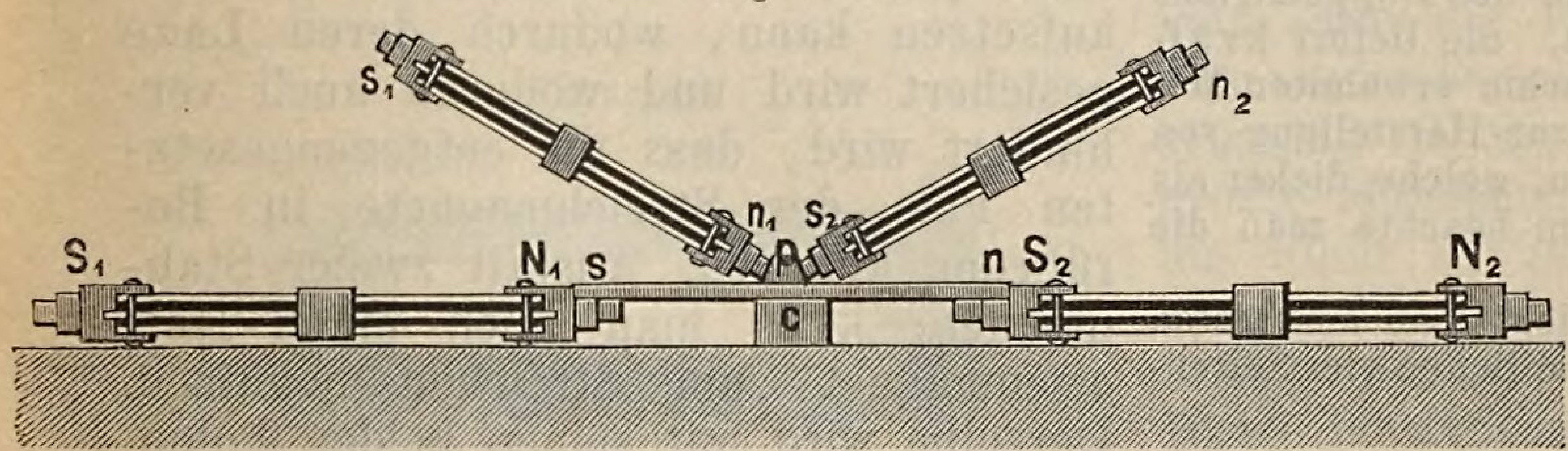
Erkl. 116. Bei Anwendung des getrennten Strichs werden beide Stabenden zuletzt gleichzeitig berührt und sind deshalb (siehe Erkl. 114) die Pole nahezu gleich stark, infolgedessen liegt auch der Indifferenzpunkt nahezu in der Mitte.

Frage 60. Worin besteht die Methode des Doppelstrichs?

Antwort. Die Methode des Doppelstrichs ist analog der Methode des getrennten Strichs, sie besteht nämlich in folgendem:

Den zu magnetisierenden Stahlstab legt man wie bei der Methode des getrennten Strichs auf (oder auch zwischen) die Enden zweier kräftigen, in gleicher Richtung liegenden Magnete, welche entgegengesetzte Pole enthalten, siehe Figur 45. Damit bei der Streichung des Stabes keine Verrückung stattfindet, kann man denselben auf dem in der Mitte untergeschobenen Holzklotz *c* befestigen. Dann setzt man in der Mitte des Stabes genau so, wie bei der Methode des getrennten Strichs angegeben ist, die beiden Streichmagnete mit ihren ungleichnamigen Polen so auf, dass 1). diese Pole etwas von einander abstehen, dass 2). diese Pole mit den gleichnamigen Polen der beiden unteren Magnete in einerlei Richtung liegen, und dass 3). jeder der Stäbe, wie die Figur zeigt, mit dem zu magnetisierenden Stab einen Winkel von ca. 25 ⁰ bildet (die Neigung der Streichmagnete gegen den Stab wird also bei dieser Methode grösser ge-

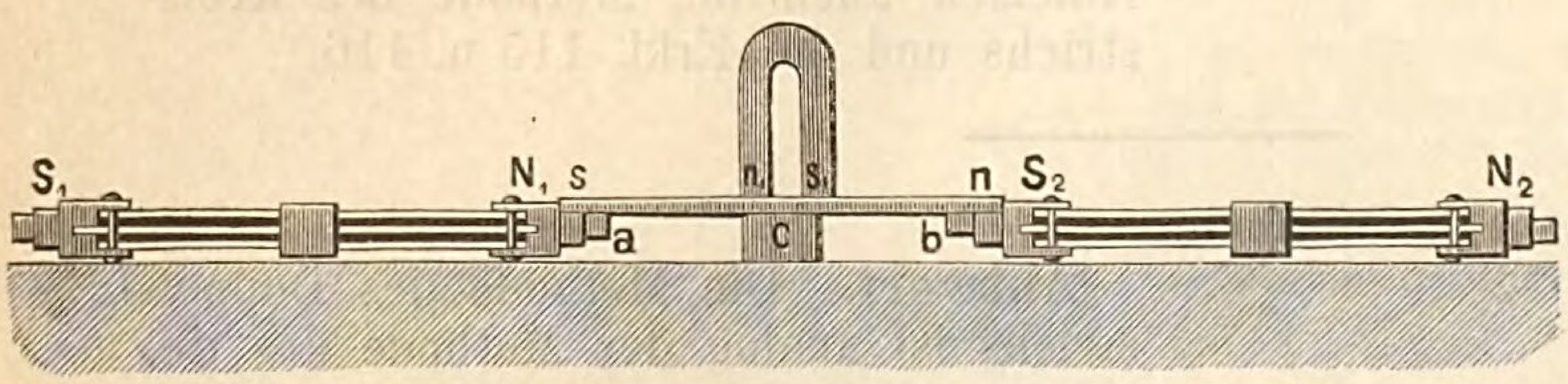
Figur 45.



Erkl. 117. Zu den Methoden des Doppelstrichs gehört jedes Verfahren, bei welchem über jede Stelle des Magnets mit zwei entgegengesetzten Polen gestrichen wird.

Erkl. 118. Dass bei dem Doppelstrich die Wirkung des einen Pols die des andern nicht vernichtet (aufhebt), erklärt sich dadurch, dass alle die Moleküle, die beim Streichen zwischen die Polenden der Streichmagnete zu liegen kommen, durch die Wirkung zweier Kräfte in die magnetische Lage gebracht werden.

Figur 46.



Erkl. 119. Die stete Entfernung der Pole der Streichmagnete muss mindestens 5—6 mm. betragen.

Erkl. 120. Die Methode des Doppelstrichs ist von *Aepinus* angegeben. Sie liefert kräftigere Magnete als die vorhin erwähnten Methoden. Man benutzt sie zur Herstellung von Stab- und Hufeisenmagneten, welche dicker als ca. 5 mm sind. Im übrigen beachte man die Antwort der Frage 61.

Dicke Stabmagnete streicht man am besten nach dieser Methode auf sämtlichen vier Seitenflächen.

nommen als beim getrennten Strich). Nun wird nicht, wie beim getrennten Strich mit jedem Streichmagnet nach einem andern Ende des Stabes, sondern es wird mit beiden Streichmagneten unter steter Beibehaltung ihrer einmal angenommenen Lage gleichzeitig nach einem und demselben Ende gestrichen, daselbst werden die Magnete nicht aufgehoben, sondern es wird in derselben Weise nach dem andern Ende des Stabes gestrichen, von da wieder zum ersten Ende u. s. f. Nach mehrmaligem (15 bis 20 maligem) Streichen von einem Ende zum andern werden beide Magnete in der Mitte des Stabes aufgehoben.

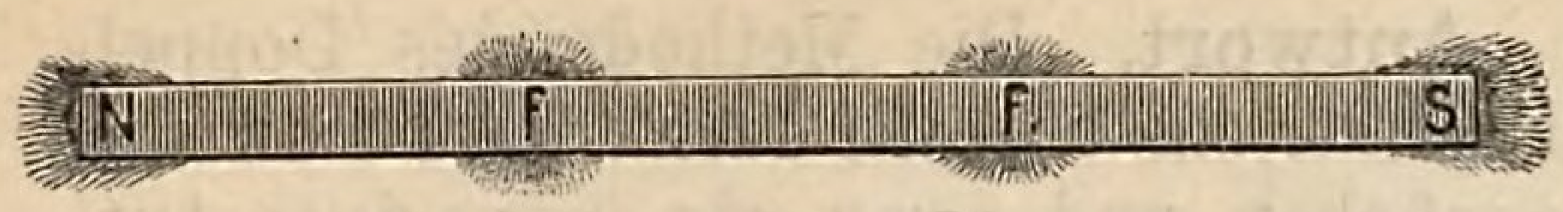
Damit nun beim gleichzeitigen Streichen mit den beiden Magneten, deren Lage zu einander (dieselben dürfen wie beim getrennten Strich niemals miteinander in Berührung kommen) und zu dem Stabe ziemlich unverändert bleibt, fertigt man sich aus Holz, Messing oder Blei ein kleines Prisma *p*, siehe Fig. 45, mit parallel-trapezförmigem Querschnitt so an, dass man, wie in der Figur 45 angegeben ist, die Streichmagnete auf den nicht parallelen Seitenflächen desselben aufsetzen kann, wodurch deren Lage gesichert wird und wodurch auch verhindert wird, dass die entgegengesetzten Pole der Streichmagnete in Berührung kommen. Anstatt zweier Stabmagnete kann man auch einen Hufeisenmagnet zum Streichen benützen. Derselbe wird mit seinen beiden Polen, wie die Figur 46 zeigt, aufgesetzt und dann wie vorhin angegeben ist, so hin- und hergeschoben, dass beide Pole stets auf dem Stabe aufsitzen. Der Hufeisenmagnet darf nicht umgekehrt werden. (Siehe die Erkl. 117—120.)

Frage 61. Warum ist die Methode des Doppelstrichs nicht immer zu empfehlen, obgleich sie sehr kräftige Magnete liefert?

Antwort. Bei Herstellung von Magneten mittels der Methode des Doppelstrichs erhält man oft, wenn bei dem

Magnetisieren nicht die grösste Regelmässigkeit und Gleichheit im Druck, in der Bewegung, im Aufsetzen der Pole und im Halten der Streichmagnete bewahrt wird, anomale Magnete, d. h. (siehe Antwort der Frage 56) Magnete mit sogenannten Folgepunkten. Da nun derartige Magnete zu Magnetnadeln und für feine Messinstrumente nicht angewendet werden können, so vermeidet man am besten das Herstellen solchen Zwecken dienender Magnete mittels der Methode des Doppelstrichs und benutzt hiezu die Methode des getrennten Strichs. (Siehe Erkl. 121.)

Figur 47.



Erkl. 121. Von dem Vorhandensein von Folgepunkten überzeugt man sich durch Eintauchen in Eisenfeile oder durch Benutzung der magnetischen Figuren (siehe Figur 47), indem man über den Magnetstab einen starken Papierbogen legt, Eisenfeile darauf siebt und mittels eines Stäbchens die Anordnung der Eisenfeile durch Trommeln auf dem Papier befördert.

Erkl. 122. Die beim Streichen entstehenden Folgepunkte zeigen sich gewöhnlich an den Stellen, an welchen nach entgegengesetzten Richtungen magnetisiert wurde, also da wo ein Polaritätswechsel stattfindet.

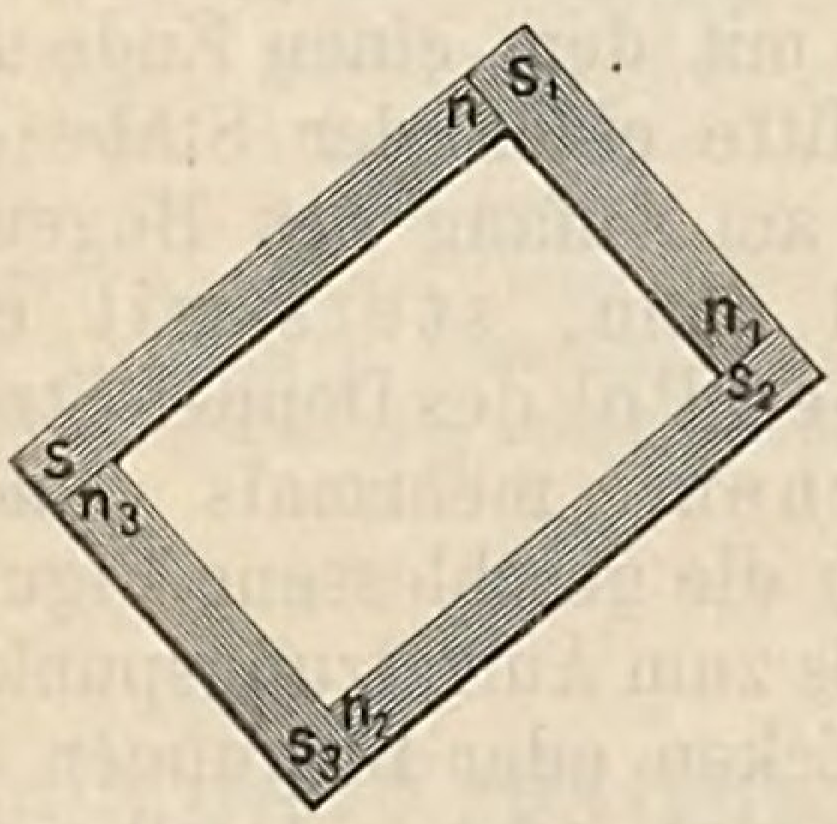
Frage 62. Worin besteht die Methode des einfachen Kreisstrichs?

Antwort. Die Methode des einfachen Kreisstrichs besteht darin, dass man sich zunächst aus mehreren zu magnetisierenden Stahlstäben eine geschlossene Figur bildet, was auf folgende Weise geschehen kann:

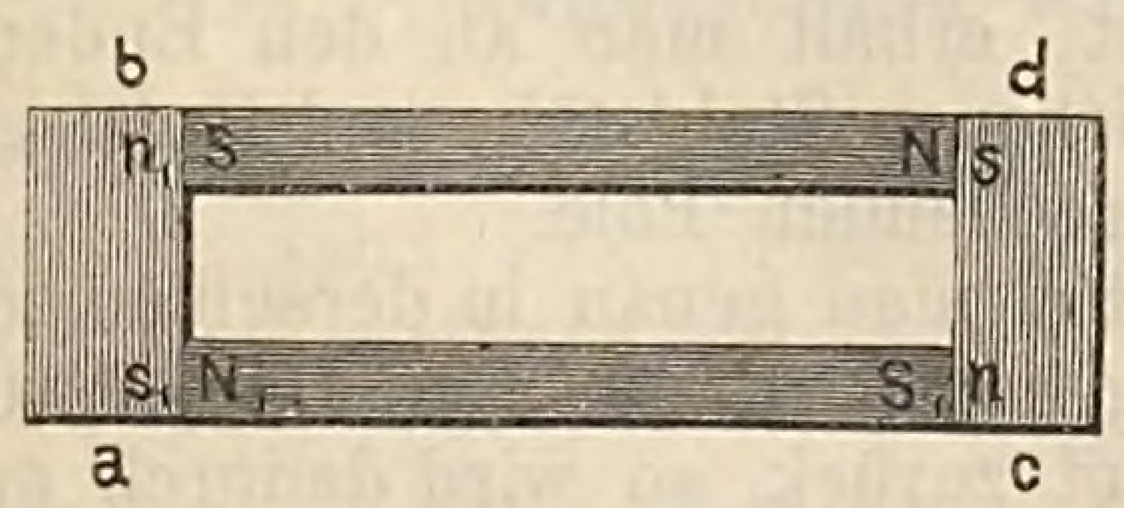
Hat man vier gleichgrosse Stahlstäbe, so legt man sie, wie die Figur 48 zeigt. Hat man zwei gleichgrosse Stäbe, so legt man sie parallel nebeneinander und stösst, wie in Fig. 49 gezeigt ist, an den Enden die beiden weichen Eisenstücke *ab* und *cd* an; hat man ein Hufeisen, so legt man, wie die Figur 50 zeigt, an den Schenkelenden ein passendes weiches Eisenstück *ab* an; hat man zwei gleichgrosse Hufeisen, so legt man sie, wie die Figur 51 zeigt, mit ihren Füssen aneinander an.

Hat man auf eine oder die andere Weise eine geschlossene Figur gebildet, so setzt man den einen Pol eines Streichmagnets auf, und zwar bei Stäben in der Mitte eines der Stäbe, bei Hufeisen am Anfang des Bogens, und streicht mit diesem Pol mehrmals ringsum die geschlossene Figur, aber immer nach einer und derselben Richtung, also entweder links oder rechts herum und auch ohne den Streichmagnet umzudrehen oder nur aufzuheben. Dieselbe Operation wird auf der andern Seite der Stahlplatte wiederholt.

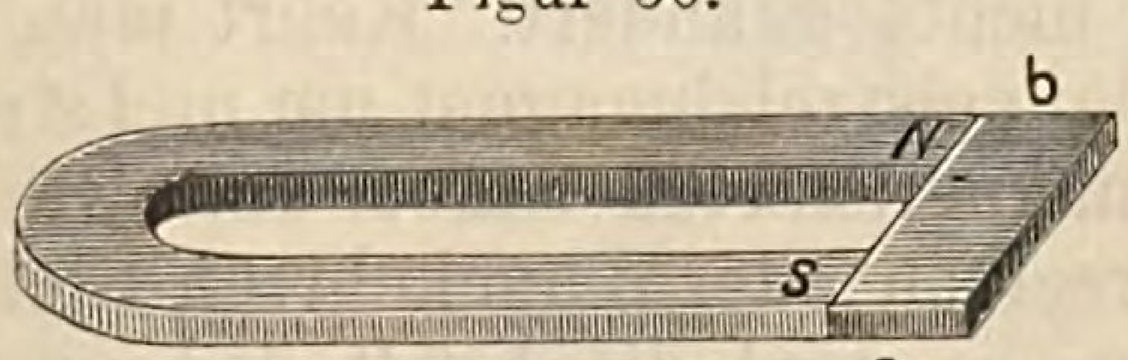
Figur 48.



Figur 49.



Figur 50.

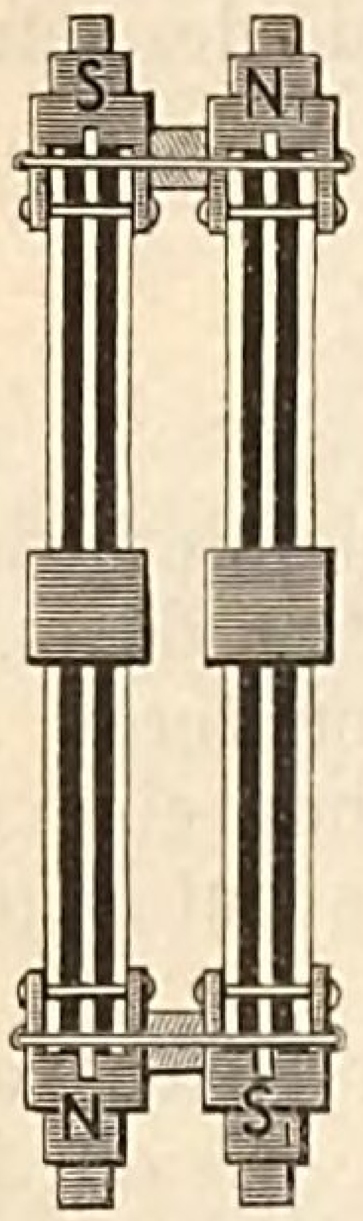


Figur 51.



Frage 63. Worin besteht die Methode des Doppel-Kreisstrichs?

Figur 52.



Erkl. 123. Je härter der Stahl, desto näher müssen die Streichpole beisammen liegen.

Erkl. 124. Der Doppel-Kreisstrich liefert die kräftigsten Magnete und wird besonders zur Herstellung von Hufeisenmagneten benutzt, wobei man, wie die Figur 51 zeigt, zwei Hufeisenmagnete auf einmal herstellen kann.

Antwort. Die Methode des Doppel-Kreisstrichs besteht darin, dass man sich zunächst, und zwar wie in voriger Antwort und den Figuren 48—51 angegeben ist, eine geschlossene Figur bildet, dann wie die Figur 52 zeigt, zwei kräftige Magnetstäbe oder Magnetbündel, magnetische Magazine so durch Metallklammern verbindet, dass die ungleichnamigen Pole beider Magazine nach ein und derselben Seite zu liegen kommen und dass zwischen denselben ein freier Raum bleibt, was man dadurch erreicht, indem man oben und unten zwei Holzklötzchen einschaltet. (Man könnte auch, wie in der Figur 45 gezeigt ist, zwei getrennte Magnetstäbe benutzen, man wird jedoch schwerlich diese getrennten Magnete stets in gleicher Lage um die geschlossene Figur herumführen können.) Der somit gebildete Doppel-Streichmagnet wird mit dem einen Ende senkrecht in der Mitte eines der Stäbe oder bei Hufeisen am Anfang des Bogens aufgesetzt und dann, stets mit ein und demselben Pol des Doppel-Streichmagnets vornen, mehrmals ohne aufzuheben um die geschlossene Figur herumgeführt bis zum Aufsetzungspunkt zurück. An den Ecken oder Biegungen muss der Streichmagnet, ohne denselben aufzuheben, langsam in der Hand gedreht werden.

Wie in den Figuren 48—51 angedeutet ist, erhält man an den Enden der gestrichenen Stahlstäbe und Hufeisen die entsprechenden Pole.

Führt man genau in derselben soeben angegebenen Lage den Doppelstreichmagnet zurück, so wird dadurch an der Kraft der magnetisierten Stäbe und Hufeisen nichts geändert. Kehrt man aber den Doppelstreichmagnet um und streicht die magnetisierten Stäbe und Hufeisen in derselben oder umgekehrten Richtung weiter, so wird die Kraft der magnetisierten Stäbe geschwächt, dann ganz aufgehoben und bei fortgesetztem Streichen neuer Magnetismus in umgekehrter Richtung erweckt, nämlich da wo früher die Nordpole der magnetisierten Stäbe und Hufeisen waren, werden Südpole, da

wo Südpole waren, werden Nordpole hervorgerufen.

Frage 64. Wovon hängt die Stärke eines gestrichenen Magnets ab?

Erkl. 125. Nur im allgemeinen hängt die Stärke eines gestrichenen Magnets von der Stärke des streichenden ab. Es gibt Magnete, magnetische Magazine, die weniger tragen als die durch sie gestrichenen Stahlstäbe und Hufeisen.

Erkl. 126. Die Güte eines gestrichenen Magnets hängt nur in gewissem Sinne von der Zahl der Striche ab, indem sich über den sogenannten „Sättigungspunkt“ hinaus kein Stahlstab oder Hufeisen magnetisieren lässt.

Erkl. 127. Hufeisen werden stets kräftiger als Stahlstäbe. Dünnere Stäbe erhalten im Verhältnis mehr magnetische Kraft als dickere Stäbe.

Erkl. 128. Bei dem Streichen kommen ausserdem noch mancherlei Umstände, als Art des Strichs, Stärke, Geschwindigkeit etc. in Betracht; und da meistens diese Umstände in kombinierter Form auftreten, so lässt sich wohl schwer, speziell dem einen oder dem andern der erwähnten Umstände, die grössere oder geringere Stärke des magnetisierten Stahls zuschreiben.

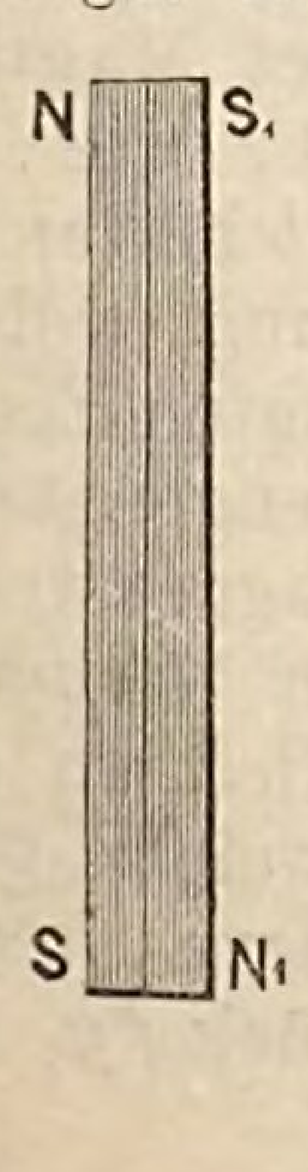
Antwort. Die Stärke eines gestrichenen Magnets hängt unter anderm (siehe Erkl. 128) von folgendem ab:

1). von der Stärke des Streichmagnets (siehe Erkl. 125);
2). von der Zahl der Striche (siehe Erkl. 126);
3). von der Form und Grösse des gestrichenen Stahls (siehe Erkl. 127);
4). von der Qualität des Stahls, bezw. von seiner Koercitivkraft (Dichte, Härte, Kohlengehalt).

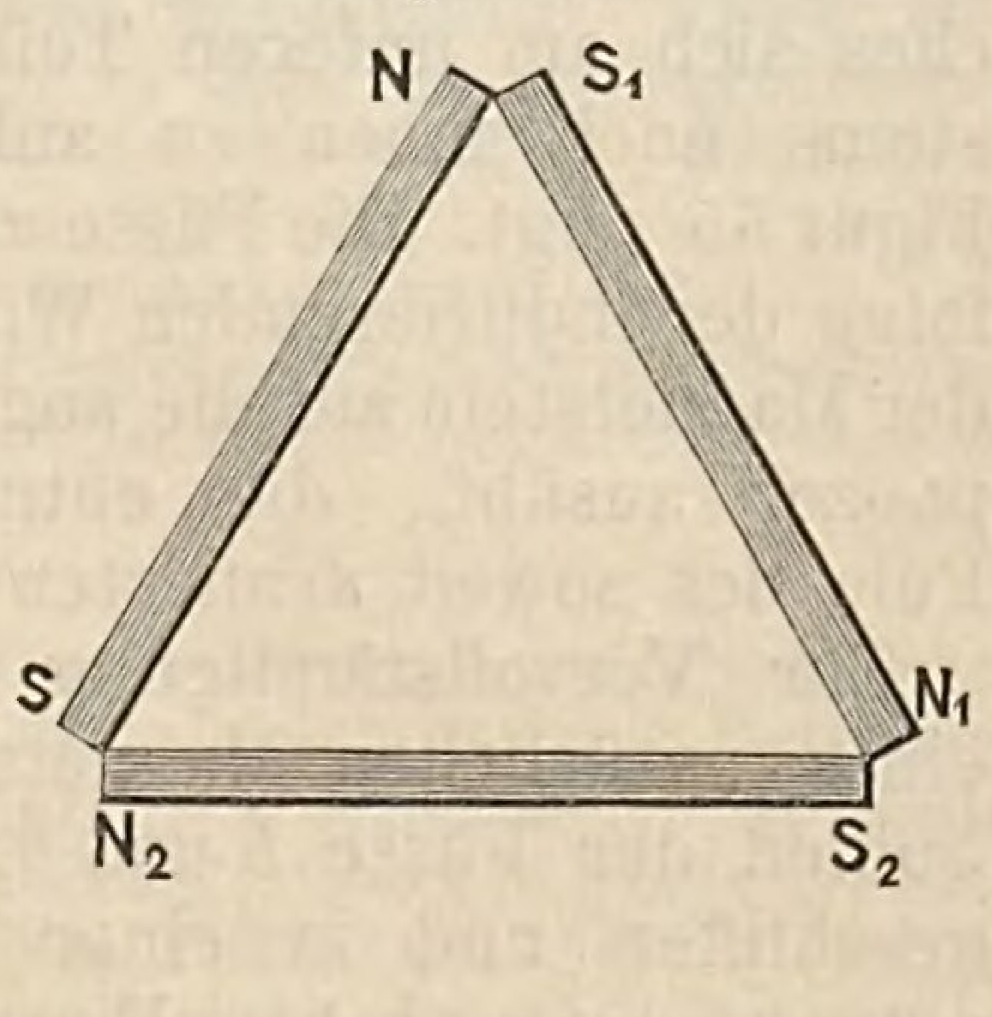
5). Ueber die Erhaltung und Vermehrung der magnetischen Kraft von Magneten.
(Magnetische Armaturen und Tragkraft.)

Frage 65. Auf welche Weise kann die magnetische Kraft eines Magnets erhalten und gestärkt werden?

Figur 53.



Figur 54.



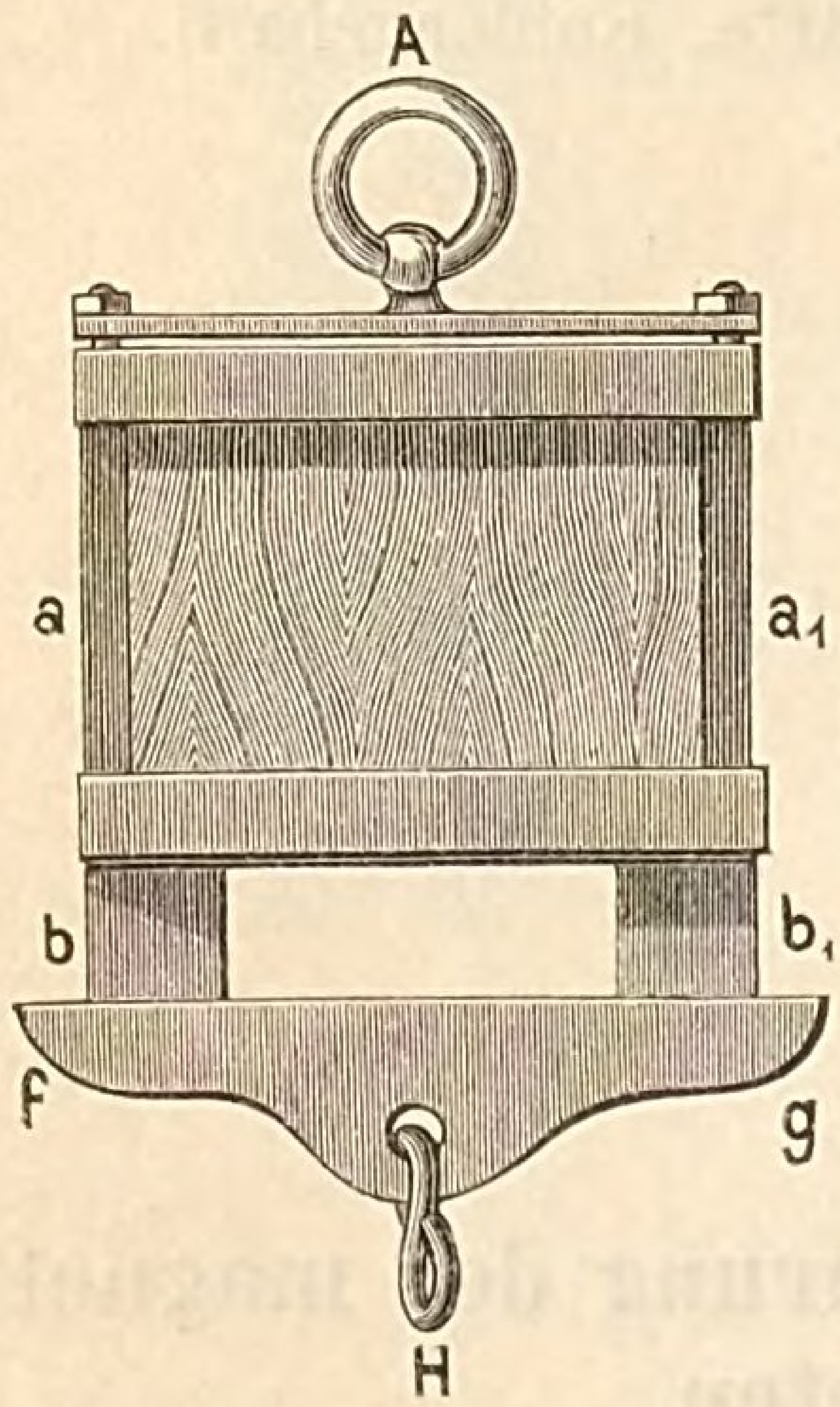
Antwort. Die magnetische Kraft eines Magnets bleibt nicht immer dieselbe, sie nimmt mit der Länge der Zeit teils von selbst, teils infolge verschiedener Einflüsse, die in einem späteren Abschnitt zur Sprache kommen, ab; man kann sie jedoch durch die sogenannte Bewaffnung oder „Armatur“ nicht allein erhalten, sondern man kann auch hierdurch die durch das Magnetisieren grösstmöglichst erreichte Kraft noch erhöhen (siehe Erkl. 129).

Erkl. 129. Die magnetische Kraft von Magnetstäben kann man auch dadurch erhalten, dass man sie, wie die Figur 53 zeigt, mit entgegengesetzten Polen nebeneinander legt, oder dass man, wie die Figur 54 zeigt, mittels derselben eine geschlossene Figur bildet.

Dabei muss allerdings vorausgesetzt werden, dass die Magnetstäbe gleich stark sind, denn sonst wird sich nur der schwächere erhalten, während der stärkere nicht bewahrt bleibt. Für solche Magnete muss man die sogenannten Anker benutzen.

Frage 66. Worin besteht die Armatur eines natürlichen Magnets?

Figur 55.



Figur 56.



Antwort. Die beiden Enden eines natürlichen Magnets, eines Magnetsteins, welchen die meisten Eisenfeile anhaften, welche also die Pole enthalten, werden so bearbeitet (durch Zuhauen, Sägen und Abschleifen), dass sie zwei parallele Flächen miteinander bilden. An diese beiden ebenen Flächen werden, wie die Figur 55 in der Vorderansicht und Figur 56 in der Seitenansicht zeigt, die beiden aus Schmiedeeisen bestehenden, aber glatt gefeilten und geschliffenen (ungefähr 2 mm dicke) Eisenteile ab und $a_1 b_1$, die sogenannten Panzer oder Flügel angelegt und mittels Bindfaden oder, wie in den Figuren, mittels messingenen (nur nicht mit eisernen) Metallstreifen an dem Magnetstein befestigt. Der Panzer ab (oder $a_1 b_1$) besteht aus einem Blatt a, welches wie die Figuren 55 u. 56 zeigen, seiner Länge nach genau in die abgeschliffene Fläche des Magnetsteins passt und denselben möglichst innig berührt, was durch glattes Abschleifen erreicht wird, und aus dem Blatt b, dem sogen. Fuss (Schuh), welches an das Blatt a so geschmiedet ist, dass dessen Ebene senkrecht zur Ebene des Blattes a ist und welches sich am unteren Teil des Magnetsteins nach innen zu anlegt, wie die Figur 55 zeigt. Die Füsse a u. b bilden infolge der induzierenden Wirkung, welche der Magnetstein auf die angelegten Eisenpanzer ausübt, die entgegengesetzten Pole des soweit armierten Magnetsteins.

Zur Vervollständigung der Armatur eines natürlichen Magnets wird an den Sohlen der Füsse b und b_1, welche glatt geschliffen und in einer Ebene liegen müssen, ein weiches Eisenstück fg, der

sogenannte „Anker" angehängt. In diesen Anker ist genau in der Mitte ein Loch gebohrt, daselbst ein Haken *H* angebracht, an welchem ein Schälchen aufgehängt werden kann. In das Schälchen können so viele Gewichte gelegt werden, als der Magnet zu tragen vermag, wodurch die magnetische Kraft mit der Zeit erhöht und dauernd erhalten bleibt. Ein Abreissen des Ankers ist zu vermeiden. Am Kopfe des armierten Magnets ist noch ein Ring *A* befestigt, an welchem der ganze Magnet mit seinem Anker etc. aufgehängt werden kann. (Siehe die Erkl. 130 u. 131.)

Erkl. 130. Es soll natürliche Magnete gegeben haben, die in nebenstehender Weise armiert, 50 Kgr. trugen.

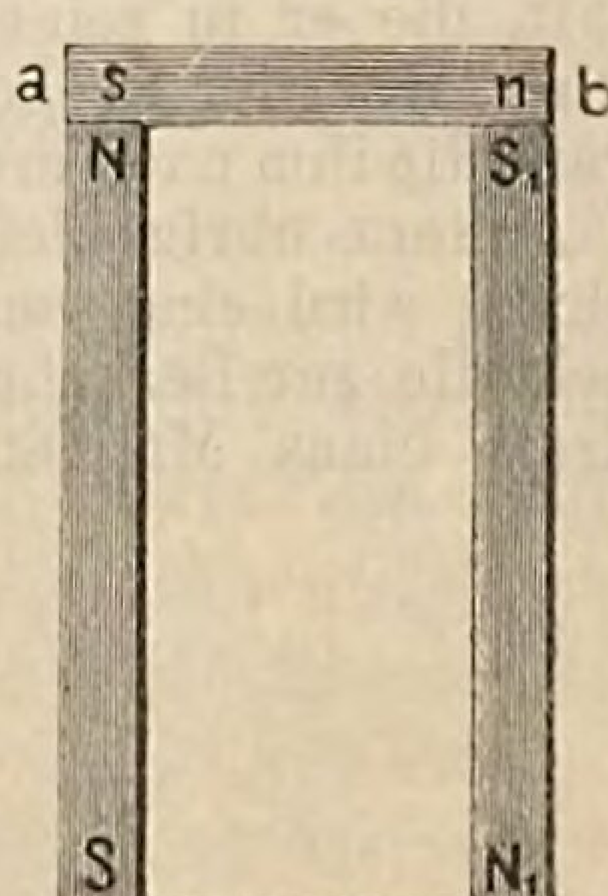
Erkl. 131. Der an natürlichen Magneten und Hufeisenmagneten befindliche Anker darf nicht so schwer sein, dass er abreisst oder ein Abreissen zu befürchten ist. Der Anker muss beim Abnehmen langsam abgezogen, abgeschoben werden, ohne dass hierbei ein seitliches Verschieben oder ein Rückwärtsschieben stattfindet.

Frage 67. Worin besteht die Armatur künstlicher Magnete?

Antwort. Die Armatur der künstlichen Magnete besteht darin, dass man bei Hufeisenmagneten an den Füssen derselben ein genau passendes weiches Stück Eisen, den sogenannten „Anker" anlegt. Das weiche Eisen wird infolge der Induktion selbst zu einem Magnet und bindet rückwirkend die in dem Magnet vorhandenen freien Magnetismen; man kann somit sagen: der Anker hat den Zweck, den Magnet zu beschäftigen (siehe Erkl. 132).

Bei Stahlstäben legt man an beiden Enden ein weiches Eisenstück an. Hat man zwei gleiche Stahlstäbe, so legt man sie, wie die Figur 57 zeigt, mit entgegengesetzten Polen nebeneinander und dann an jedes der Enden ein weiches Eisenstück, so dass das Ganze ein vollständiges Rechteck bildet. Diese Eisenstücke wirken wie der Anker beim Hufeisenmagnet.

Figur 57.



Erkl. 132. An dem sogenannten „Anker" der Hufeisenmagnete wird gewöhnlich, wie bei der Armatur der natürlichen Magnete genau in der Mitte ein Loch angebracht, welches zum Anhängen einer Schale dient, in die Gewichte eingelegt werden können. Als hineinzulegende Gewichte benutzt man am besten Schrotkörner, deren Zahl man von Zeit zu Zeit um eins vermehren kann, wodurch die magnetische Kraft erhöht, bezw. die magnetische Lagerung der Moleküle stetig befestigt wird. Siehe Antwort der folgenden Frage.

Erkl. 133. Dass man nicht an jeden Pol eines Hufeisenmagnets ein besonderes, sondern an beiden Polen ein gemeinschaftliches weiches Eisen zur Erhaltung des Magnetismus anlegt, hat seinen Grund darin, weil im ersten Falle die Tragkraft des ganzen Hufeisenmagnets nur gleich der Summe der Tragkräfte an beiden Polen ist; im zweiten Falle aber, also wenn an beiden Polen ein gemeinschaftlicher Anker gelegt wird, die Gesamtkraft des Magnets bedeutend grösser wird. Jeder Pol des Magnets begünstigt nämlich, infolge seiner induzierenden Wirkung auf das weiche Eisen, in dem ihm entgegengesetzten Teil des Ankers die Bildung eines ihm gleichnamigen, also dem andern Pol des Magnets entgegengesetzten, Pols.

Bei den Hufeisenmagneten wirkt somit infolge des Ankers jeder Pol stärkend auf den andern Pol.

Erkl. 134. Die Erfahrung lehrt, dass wenn die Fläche des Ankers, welche mit dem Hufeisenmagnet in Berührung kommt, sehr schmal gehalten ist, die Tragkraft des Magnets grösser wird als wenn jene Fläche des Ankers breiter ist. Je nach der Grösse des Magnets macht

man deshalb jene Fläche nur 1—4 mm breit. Die Ursache lässt sich theoretisch mit Bestimmtheit nicht geben. Wahrscheinlich rührt es daher, weil bei einer schmalen Berührungsfläche eine bessere Berührung stattfindet.

Frage 68. Was versteht man unter der Tragkraft eines Magnets und wozu kann man dieselbe benutzen?

Antwort. Unter der Tragkraft eines Magnets versteht man das Gewicht des Eisens, welches ein Magnet in seinem Pol, bei Hufeisenmagneten in ihren Polen, festzuhalten vermag. Zur Bestimmung dieses Gewichts wird an einem Ende eines Magnetstabs ein weiches Eisenstück angelegt, in dessen Mitte ein Loch ist, in welchem eine Wagschale befestigt werden kann. Bei Hufeisenmagneten benützt man den zu diesem Zwecke schon eingerichteten Anker und hängt an denselben eine Wagschale. In diese Schale werden nun so lange kleine Gewichte gelegt, bis das Eisen von dem Magnet losreisst, alsdann ist durch das Gewicht des Eisens, der Wagschale und jener aufgelegten Gewichte die Tragkraft bestimmt. Bei Stabmagneten muss dieses Gewicht, da nur ein Pol zu dessen Bestimmung benützt wurde, verdoppelt werden.

Die Tragkraft eines Magnets kann man zur ungefähren Messung der Stärke seiner magnetischen Kraft benutzen (siehe die Erkl. 136). Zur Messung der wahren Stärke eines Magnets muss man seine Direktionskraft, wie später gezeigt wird, benutzen. (Siehe die Erklärungen 135—137.)

Erkl. 135. Bei Bestimmung der Tragkraft, wie nebenstehend angegeben ist, ergibt sich die schon erwähnte Thatsache, dass durch langsames Zulegen der Gewichte die Tragkraft grösser wird, als dies beim raschen Zulegen bis zum Losreissen des Eisenstücks stattfindet.

Erkl. 136. Die Tragkraft eines Magnets kann deshalb nur zur ungefähren Messung seiner magnetischen Kraft dienen, weil unter anderm schon durch das Anlegen des Eisens, an welchem die Wagschale befestigt werden muss, infolge der induzierenden Wirkung des Magnets, letzterer schon Veränderungen erleidet, die schwer in Rechnung zu ziehen sind, indem das hierdurch magnetisierte Eisen des Ankers eine Rückwirkung auf den Magnet ausübt. Man benützt deshalb zur Messung der wahren Stärke eines Magnets, wie später gezeigt wird, seine Direktionskraft, da sie allein von der Stärke des Magnets abhängt.

Erkl. 137. Da ein Hufeisenmagnet, der mittels Streichen bei vorgelegtem Anker (siehe Figur 44) hergestellt wurde, mehr trägt als ein Hufeisenmagnet, der mittels Streichen ohne vorgelegten Anker hergestellt wurde, da ferner die Tragkraft eines Hufeisenmagnets durch langsames Zulegen erhöht werden kann, so wird man je nachdem für die Tragkraft, die man nach dem in nebenstehender Antwort angegebenen Verfahren für einen Magnet gibt, verschiedene Werte erhalten. — Man spricht deshalb von einer sogenannten „konstanten“ Tragkraft und versteht darunter diejenige Tragkraft, die er in seinem Sättigungspunkt hat (siehe Antw. der Frage 72, Seite 52), d. i. die Tragkraft, die ihm nach mehrmaligem Abreissen des Ankers übrig bleibt. In einem späteren Abschnitt wird eine von *Häcker* aufgestellte Formel, die zur Berechnung der konstanten Tragkraft eines Magnets dient, vorgeführt.

6). Ueber die magnetischen Magazine.

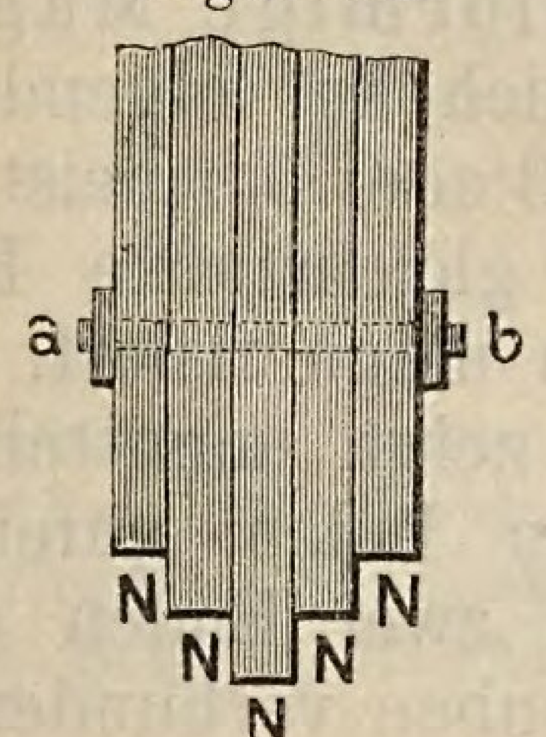
Frage 69. Was versteht man unter einem magnetischen Magazin?

Antwort. Weil beim Magnetisieren die influenzierende Wirkung des Streichmagnets nicht sehr tief in das Innere des Stahls eindringt (siehe Antwort der Frage 75), infolgedessen dicke Stahlstäbe nicht kräftiger magnetisiert werden können als dünne, und weil somit die Stärke der Magnete durchaus nicht proportional der Masse derselben wächst, so versuchte man stärkere Magnete dadurch herzustellen, dass man, nach den Angaben *Coulomb's* und *Ampère's*, mehrere dünne Magnetstäbe oder Hufeisenmagnete mit ihren gleichnamigen Polen (siehe Antw. der Frage 50, Seite 29) aufeinander legte, durch dazwischen gelegte Messingstreifen oder Pappstreifen aber von einander trennte, und einem Bündel solcher zusammengelegten Stäbe den Namen „magnetisches Magazin", den Partialmagneten selbst, welche aus dünnen Scheiben hergestellt wurden, den entsprechenden Namen „Lamellen" gab.

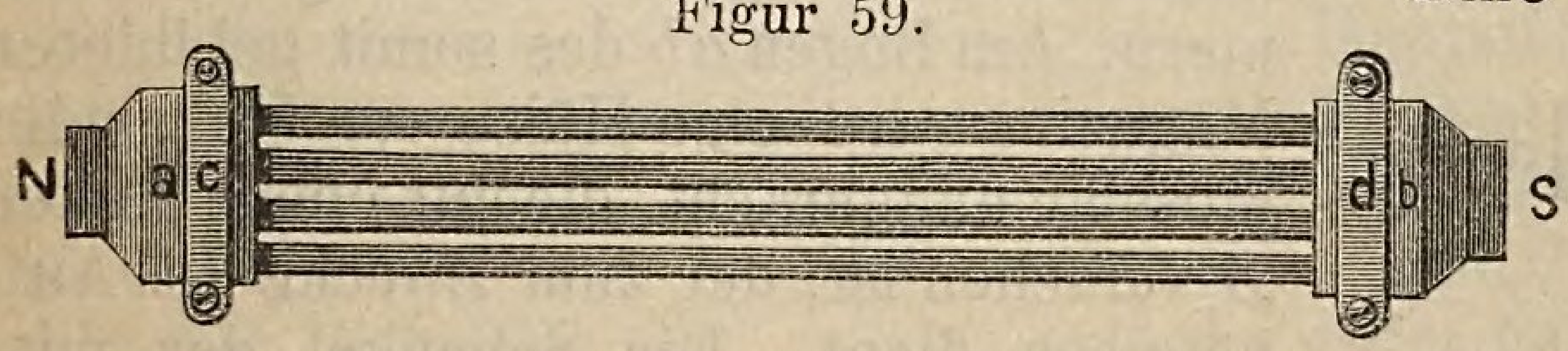
Erkl. 138. Die magnetische Kraft eines magnetischen Magazins ist nicht gleich der Summe der Kräfte der einzelnen Magnete, denn jeder dieser Magnete hat, infolge seiner induzierenden Wirkung, das Bestreben, in dem benachbarten Magnet einen entgegengesetzten Magnetismus hervorzurufen. Legt man z. B. zwei ganz gleiche Hufeisenmagnete, von denen jeder z. B. 6 Kg trägt, mit ihren gleichnamigen Polen aufeinander, so wird das somit gebildete Magazin nicht im stande sein, 12 Kg zu tragen.

Frage 70. Auf welche Weise werden die magnetischen Magazine hergestellt?

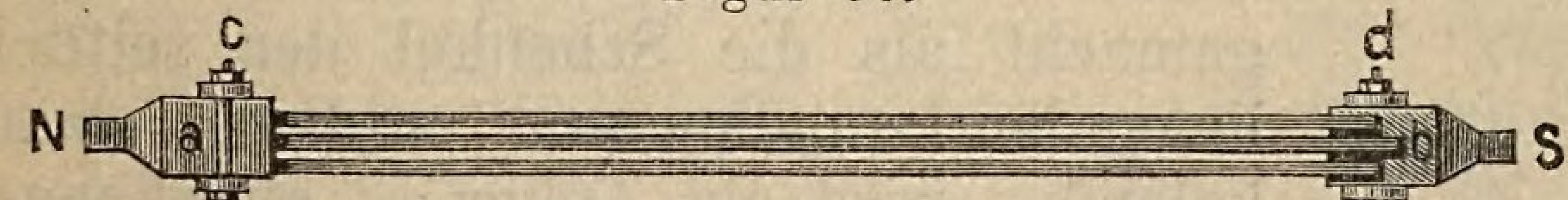
Figur 58.



Figur 59.



Figur 60.

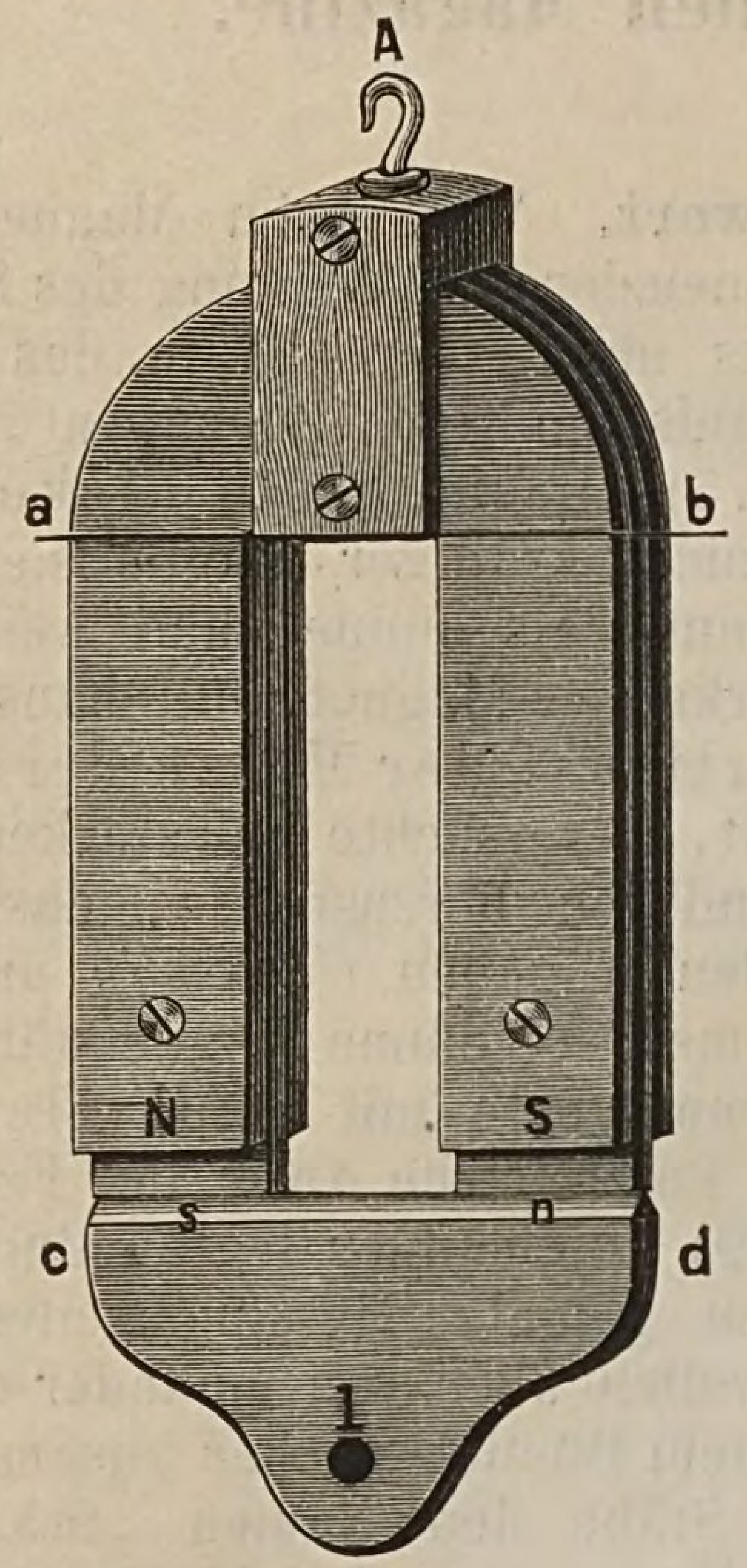


Antwort. Die einfachste und demnach auch die billigste Art der Herstellung eines magnetischen Magazins wird folgende sein:

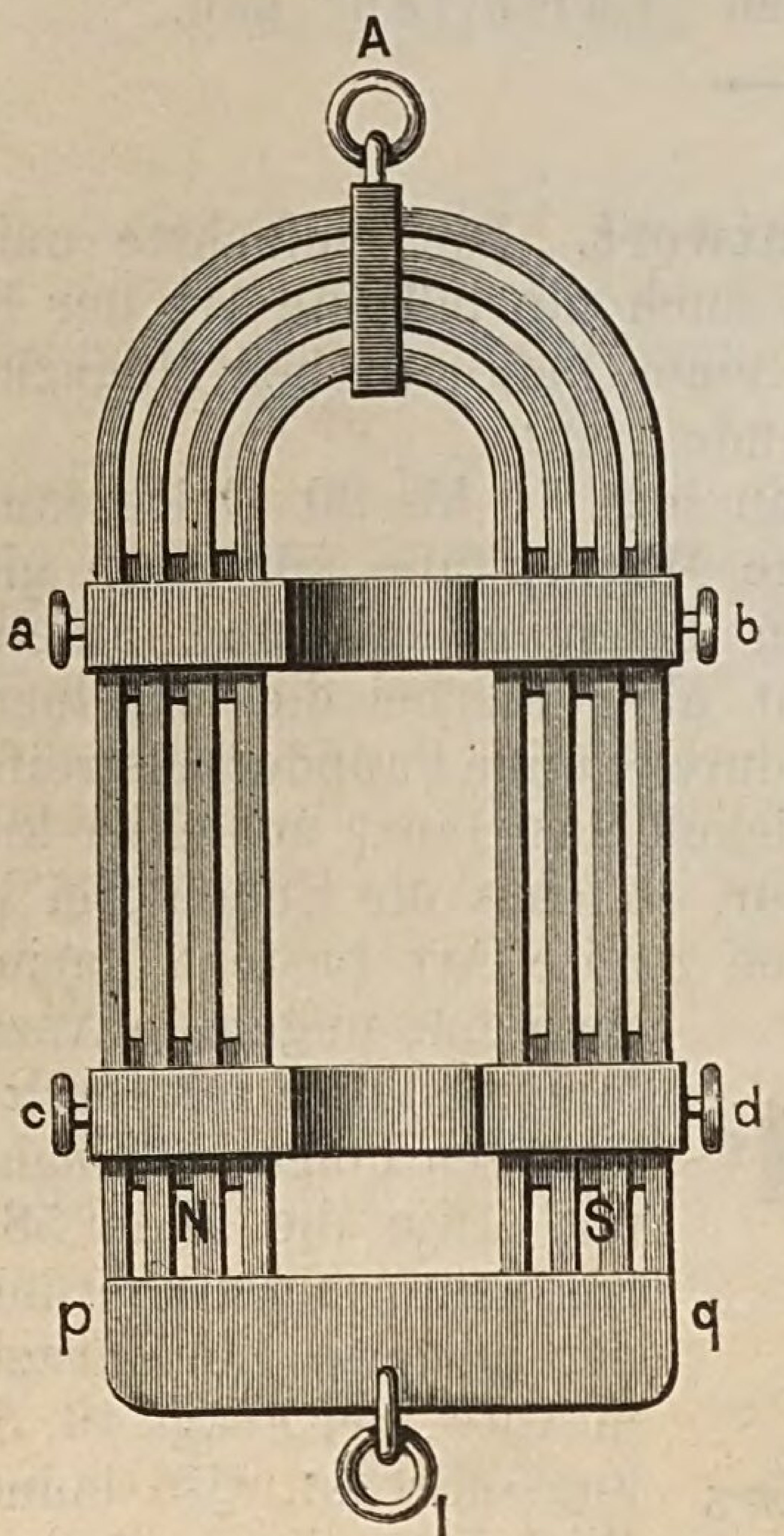
Man legt 10 bis 20 gleich lange und starke Magnetstäbe mit ihren gleichnamigen Polen neben- und aufeinander, trennt aber hierbei die einzelnen Magnete durch dünne Pappdeckelstreifen, und umwickelt das Ganze mit einer kräftigen Schnur, so dass die Enden frei bleiben.

Eine zweite Art besteht darin, dass man eine ungerade Anzahl von Magnetstäben mit ihren gleichnamigen Polen aufeinanderlegt und, wie die Figur 58 zeigt, treppenförmig so anordnet, dass der mittelste hervorragt. Wie in Antw. der Frage 49, Seite 29 angeführt ist, wird dadurch die Wirkung dieser Pole nach

Figur 61.



Figur 62.



aussen gestärkt und nach der Erkl. 141 in dem hervorragenden Ende des mittelsten Magnets konzentriert. Je härter der Stahl ist, umso kürzer müssen die Stufen sein.

Eine dritte Art der Herstellung magnetischer Magazine ist die durch die Figur 59 und 60 angedeutete. Die Kopfenden mehrerer dünner Magnetstäbe, wozu man am besten ungezahnte magnetisierte Sägeblätter wählt, werden in die weichen Eisenstücke *a* und *b*, in welche Schnitte von der Dicke jener Magnetstäbe eingesägt sind, eingelassen. In der Figur 59 sind dies z. B. drei nebeneinanderliegende Schichten von je drei Magnetstäben. Von den in den einzelnen Schichten liegenden Magnetstäben werden gewöhnlich die mittelsten, wie auch die Figur 60 bei *b* zeigt, etwas länger angenommen. Die Enden der in den Eisenstücken *a* und *b* eingelassenen Magnetstäbe werden durch die Messingbänder *c* und *d* (oder, was weniger zu empfehlen ist, durch Schrauben) festgehalten. Die spitzen Enden *N* und *S* der weichen Eisenstücke *a* und *b*, in welchen sich die in den sämtlichen Magnetstäben enthaltenen entgegengesetzten Magnetismen vereinen, bilden die Pole eines auf diese Weise zusammengesetzten Magnets. Nach den Angaben *Biots* sollen sich solche Magazine am besten bewähren.

Hufeisenförmige Magazine stellt man gewöhnlich auf folgende Weise her:

Mehrere, 3 oder 5 (meist eine ungerade Zahl) gleichstarke Hufeisen von Stahl werden magnetisiert, alsdann, wie die Figur 61 zeigt, unmittelbar mit ihren gleichnamigen Polen aufeinandergelegt und an den zwei Enden der Schenkel mittels Schrauben verbunden, am besten wählt man aber hierzu messingene Klammern. Am Bogen *ab* des somit gebildeten Magazins wird eine Hülse von Holz oder Messing angebracht, die mit einem Haken *A* versehen ist, der zum Zwecke des Aufhängens dient. Die Schenkel der mittelsten Lamelle werden etwas länger gemacht als die Schenkel der seitlich liegenden Lamellen und an diese Schenkelenden wird ein Anker *cd* angehängt.

Erkl. 139. Von den magnetischen Hufeisenmagazinen verdient noch besondere Erwähnung der *Jamin*'sche Blättermagnet.

Bei demselben sind die Hufeisen durch Aneinanderlegung magnetisierter Stahlstreifen gebildet.

Erkl. 140. Die stabförmigen magnetischen Magazine tragen lange nicht die ihrer Grösse entsprechenden Lasten. Es gibt solche Magazine, welche weniger tragen als die Magnete, welche durch sie erzeugt sind.

Die alten französischen Physiker bezeichneten dieses verschiedene Verhalten der Magazine sehr passend, indem sie solche Magazine, die grosse Tragkraft besassen: *Aimant vigoureux* und solche Magazine, die leicht Magnetismus erregten: *Aimant genereux* nannten.

Erkl. 141. Die Erfahrung lehrt, dass solche Magazine, in welchen die mittleren Stäbe oder Hufeisenschenkel länger sind als die übrigen, kräftiger wirken als solche Magazine, in welchen dies nicht der Fall ist. Theoretisch lässt sich diese Thatsache bis jetzt nur sehr schwer nachweisen. Man kann nur annehmen, dass infolgedessen die Magnetismen an den hervorragenden Enden mehr konzentriert werden.

Eine weitere Art hufeisenförmiger Magazine sind die von *Scoresby* angefertigten Federnmagnete. Zur Herstellung derselben werden, wie die Figur 62 zeigt, ganz dünne aber breite Uhrfedern stark magnetisiert, mit Zwischenlagen von kleinen Messingstreifen so aufeinander gelegt, dass die gleichnamigen Pole zusammenzuliegen kommen, dann zu einem Hufeisen gebogen und durch Messingklammern zusammengehalten. (Siehe die Erkl. 139—141.)

7). Ueber die Schwächung der magnetischen Kraft.

Frage 71. Durch welche Einflüsse wird die magnetische Kraft eines Magnets geschwächt?

Antwort. Die Kraft eines Magnets kann durch mancherlei Einflüsse geschwächt werden. Wird z. B. ein Magnetstab vertikal so aufgehängt, dass der Südpol (für die nördliche Hemisphäre) nach unten kommt, so wird der Magnetstab infolge der Influenz des Erdmagnetismus eine Schwächung erfahren, indem der in der nördlichen Hemisphäre der Erde wirkende Südmagnetismus, nach dem Gesetz der Polarität, in dem der Erde näheren Ende des Magnets einen Nordpol herzustellen sucht, also eine Lagen-Veränderung der Moleküle des Magnets anstrebt, was durch Hammerschläge unterstützt werden kann (siehe Erkl. 142 und Antwort der Frage 77).

Plötzliche Stösse, Fallenlassen der Magnete und ganz besonders hohe Wärme sind weitere Ursachen der Schwächung der magnetischen Kraft, indem sie die ursprüngliche, infolge der Koercitivkraft angestrebte zerstreute und verwirrte La-

Erkl. 142. Ursachen, welche während dem Magnetisieren stärkend wirken, wie Hammerschläge etc. (siehe Erkl. 101, Seite 35), können bei dem fertigen Magnet schwächend wirken.

Erkl. 143. Die Temperatur, bei welcher ein magnetischer Körper seinen Magnetismus verliert, richtet sich nach der Beschaffenheit des Körpers und ist für jeden Körper eine andre. So verliert Eisen schon bei der Rotglühhitze, Stahl bei der Weissglühhitze, Kobalt erst bei einer Grenztemperatur, die über der Weissglühhitze liegt, seinen Magnetismus. Während unter andern z. B. Nickel bei 350 ° erst seinen Magnetismus verliert, verliert ihn Braunstein schon bei 20—25 °.

Erkl. 144. Die Abnahme des Magnetismus durch Erwärmung findet mit dem Masse statt als die Temperatur steigt.

Magnetisiert man einen Magnet bei niedriger Temperatur, z. B. bei 15 °, so nimmt die magnetische Kraft bei einer Temperaturerhöhung ab. Bei eintretender Abkühlung wird die magnetische Kraft wieder etwas gestärkt, jedoch die frühere Kraft nicht erreicht.

(Ueber die Messung der Stärke der Magnete bei verschiedenen Temperaturen ist in einem späteren Abschnitt die Rede.)

gerung der Moleküle des Stahls befördern.

Wird ein Magnet bis zum Weissglühen erhitzt, so verliert er (wie schon *Gilbert* zeigte), seinen Magnetismus vollständig und verhält sich nach seinem Erkalten gegen weiches Eisen oder andre Magnete vollständig indifferent. Durch abermaliges Härten und Magnetisieren kann man einen ausgeglühten künstlichen Magnet wieder herstellen.

Bei natürlichen Magneten wird durch hohe Wärme ebenfalls die Koercitivkraft bedeutend geschwächt und bei der Weissglühhitze ganz zerstört; solchem natürlichen Magnet kann man seine ursprüngliche Kraft nicht wieder geben.

Temporäre oder scheinbare Schwächungen eines Magnets werden hervorgerufen durch das entsprechende Nähern eines grösseren Magnets, indem sich wie früher erwähnt die ungleichnamigen Magnetismen binden. (Siehe die Erkl. 142—144.)

8). Ueber den Sättigungspunkt und das Eindringen des Magnetismus.

Frage 72. Was versteht man unter dem Sättigungspunkt eines magnetisierten Stahlstabes?

Erkl. 145. Durch kräftige Mittel oder Anhängung von Gewichten kann man einen Stahlstab über seinen Sättigungspunkt hinaus magnetisieren, „Uebersättigen“; hört jedoch die magnetisierende Kraft zu wirken auf, bezw. nimmt man die Gewichte ab und bleibt sich der Stab selbst überlassen, so wird er von seinem Magnetismus allmählich verlieren und zwar bis zu seinem Sättigungspunkt.

Der Grad der Stärke eines Magnets, den er bei seinem Sättigungspunkt hat, wird gefunden, indem man dem auf die ausgiebigste Art magnetisierten Magnet einen Anker anhängt und dann denselben abreisst, und dieses Verfahren mehrmals wiederholt. (Siehe die Erkl. 131 und 137.)

Erkl. 146. Durch einfache Berührung eines Stahlstücks wird man keinen vollständig gesättigten Magnet erhalten können, wohl aber durch Streichen (siehe Erkl. 108, Seite 37).

Antwort. Unter dem Sättigungspunkt eines magnetisierten Stahlstabes versteht man die Grenze, über welche hinaus man denselben nicht weiter bleibend magnetisieren kann (siehe Erkl. 145); beim Sättigungspunkt enthält also der Stahlstab das Maximum des bleibenden Magnetismus.

Beim Herstellen künstlicher Magnete mittels Streichen ist schwer zu beurteilen, ob das Aeusserste (der Sättigungspunkt) erreicht ist, welches das betreffende Stück Stahl von einer bestimmten Stahlsorte und bei einer bestimmten Grösse zu erhalten vermag.

Frage 73. Wovon ist der Grad der Sättigung abhängig?

Antwort. Der Grad der Sättigung eines zu magnetisierenden Stahlstücks ist von dessen Härtegrad bezw. von dessen Koercitivkraft abhängig. Je weicher der Stahl ist, desto geringer ist der bleibende Magnetismus, d. h. um so niedriger liegt der Sättigungspunkt. Je härter der Stahl, um so weniger kann eine Uebersättigung stattfinden und um so mehr kann durch entsprechende Mittel (siehe Erkl. 132) dieser Punkt überschritten werden.

Frage 74. Wie bestimmt man, ob beim Streichen der sogenannte Sättigungspunkt erreicht ist?

Erkl. 147. In einem späteren Abschnitt wird eine empirische Formel angegeben, nach welcher man ungefähr bestimmen kann, ob der Sättigungspunkt erreicht ist.

Erkl. 148. Der berühmte englische Mathematiker *Newton* soll in einem Ringe einen Magnet getragen haben, der das 260fache seines eigenen Gewichts zu halten vermochte.

Grosse und kräftigst gestrichene Magnete können kaum viel mehr als ein Gewicht tragen, das ihrem Eigengewicht gleichkommt.

Antwort. Eine bestimmte Beantwortung der Frage: „Wie bestimmt man, ob beim Streichen der Sättigungspunkt erreicht ist," ist an sich sehr schwierig, indem die Erfahrung lehrt, dass kleinere Magnete, von demselben Stahl gemacht als grössere, verhältnismässig viel kräftiger werden als letztere. (Siehe die Erkl. 147 und 148.)

Beim Streichen mit kräftigen Magneten bewirkt der erste Strich mehr als die Hälfte der Sättigung; jeder folgende wirkt weniger stark als der vorhergehende.

Frage 75. Wirkt die induzierende Kraft eines Streichmagnets bis in das Innere eines mit demselben gestrichenen Stahlstabes?

Antwort. Die induzierende Kraft eines Sreichmagnets wirkt kaum weiter als auf die Oberfläche des mit ihm gestrichenen Stahlstabes, wovon man sich durch das mittels der Figur 24 dargestellte Experiment überzeugen kann, indem man hieraus ersieht, wie schon in der Erklärung 82, Seite 25 erwähnt ist, dass der Sitz des Magnetismus bei den künstlichen durch Streichen hergestellten Magneten ausschliesslich in der Oberfläche zu suchen ist. Ein dünner Stab mit mehr Oberfläche wird beim Streichen kräftiger werden, als ein dicker Stab mit mehr Masse und weniger Oberfläche. Dies ist auch der Grund der Herstellung der magnetischen Magazine durch Zusammensetzung mehrerer dünner Magnetstäbe. (Siehe Antwort der Frage 69.)

V.

Ueber den Erdmagnetismus.

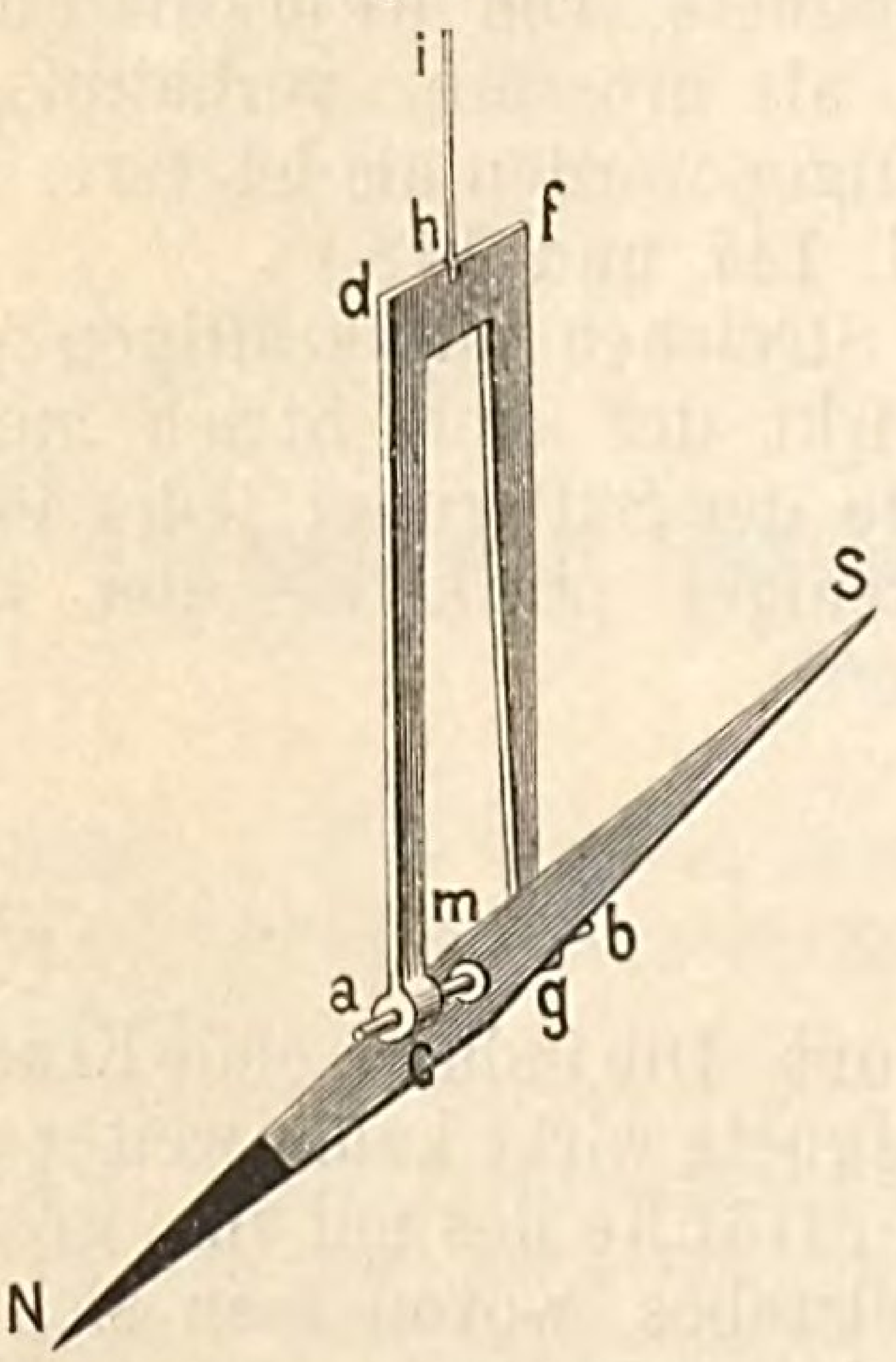
1). Ueber den Nachweis des Erdmagnetismus.

Frage 76. Was versteht man unter dem „Erdmagnetismus“?

Antwort. Unter „Erdmagnetismus“ versteht man die magnetische Kraft der Erde.

Frage 77. Worin besteht im allgemeinen der Nachweis, dass die Erde magnetische Kraft besitzt?

Figur 63.



Erkl. 149. Eine Magnetnadel kann man, damit sie sich nach allen Richtungen frei bewegen kann, wie in der Figur 63 angegeben ist aufhängen.

In dieser Figur bedeutet NS eine Magnetnadel, welche in ihrem Schwerpunkt, auf der Axe ab befestigt ist. Diese Axe ruht in dem Bügel $cdfg$, welcher an einem ungedrehten Seidenfaden hi vertikal so aufgehängt werden kann, dass jene Axe ab eine horizontale Lage annimmt. Infolge dieser Vorrichtung kann sich die Magnetnadel NS vertikal um die horizontale Axe ab und horizontal um den vertikalen Faden hi als Drehaxe drehen, kann somit jede beliebige Lage im Raume einnehmen.

Erkl. 150. Hängt man eine Magnetnadel über einen grossen und kräftigen, horizontal

Antwort. Der allgemeine Nachweis, dass die Erde magnetische Kraft besitzt, besteht in folgendem:

Hängt man einen Magnetstab oder besser noch eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte frei, d. h. so auf, dass sie nach allen Richtungen frei beweglich ist, siehe Figur 63 und Erkl. 149, so nimmt sie nach einigem Hin- und Herschwanken, an demselben Orte der Erde, eine einer bestimmten Richtung parallele Lage an, in welche sie stets wieder zurückkehrt, so oft man sie auch aus derselben entfernen mag.

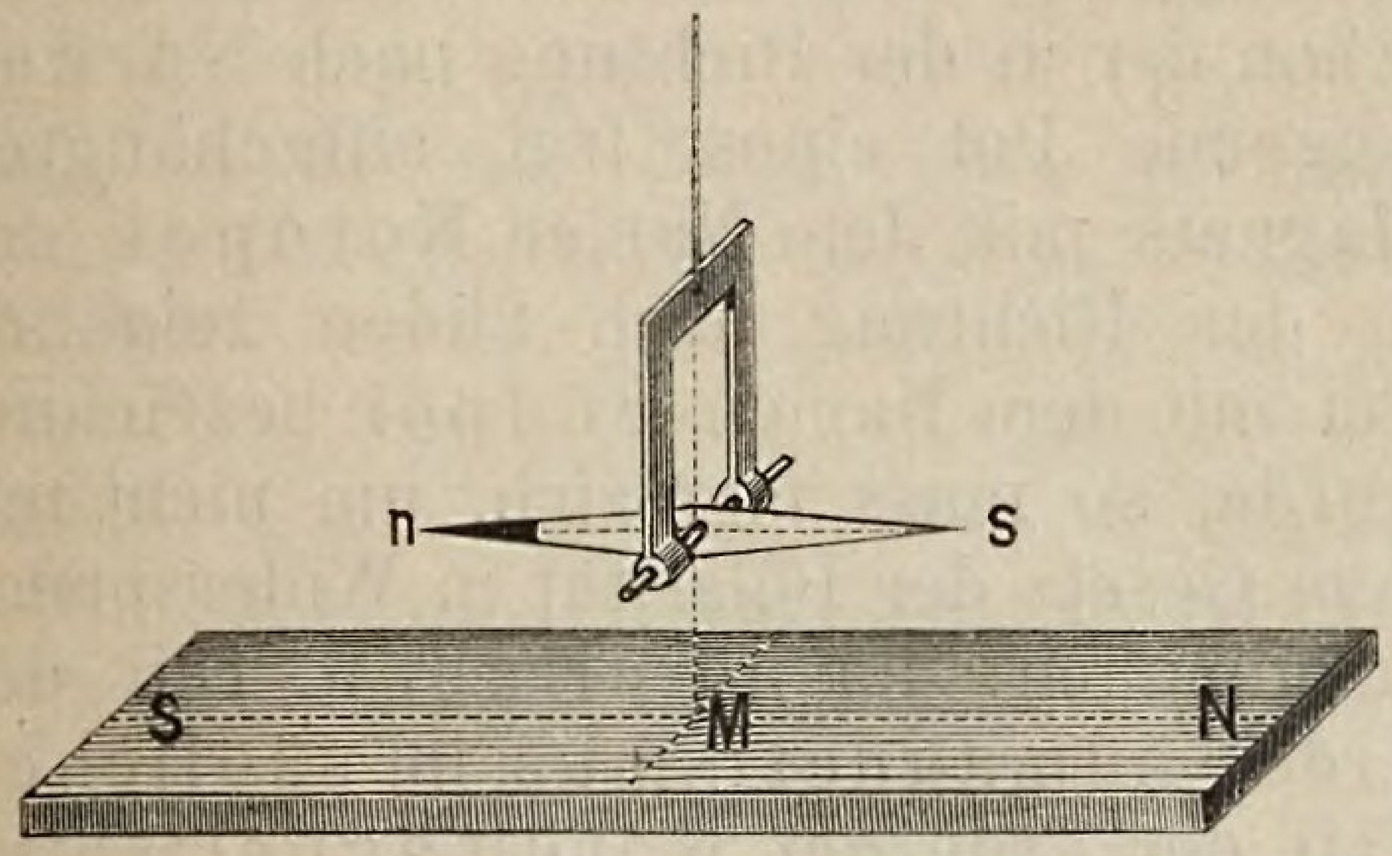
Da jene bestimmte Richtung, in bezug auf die Weltgegenden, ungefähr die Süd-Nordrichtung ist, so glaubte man anfangs dieses Verhalten der Magnetnadel auf die Annahme grosser magnetischer Gebirgsmassen in den Polargegenden sich erklären zu müssen. Später stellte sich jedoch heraus, dass diese Annahme eine irrige war, indem nirgends, weder auf der Erde noch im Innern derselben, solche gedachte riesige magnetische Gebirgsmassen vorgefunden werden konnten und weil auch bei später angefertigten vollkommeneren Instrumenten (siehe Antwort der Frage 86) sich ergab, dass jene bestimmte Richtung eine, mehr oder weniger, gegen den Horizont geneigte ist. (Siehe Figur 63.)

Man fing an das Verhalten einer frei aufgehängten Magnetnadel zu der Erde mit dem Verhalten einer frei aufgehäng-

liegenden Magnet frei auf und zwar so, dass der Aufhängepunkt der Magnetnadel genau über der Mitte des Magnets zu liegen kommt, siehe Figur 64, so nimmt die Magnetnadel eine solche Lage an, dass die Richtung ihrer magnetischen Axe parallel mit der Richtung der magnetischen Axe des Magnets zu liegen kommt, und zwar werden die ungleichnamigen Pole beider Magnete gleiche Richtungen haben.

Hängt man die Magnetnadel so auf, dass der Aufhängepunkt nicht genau über der Mitte des Magnets zu liegen kommt, sondern z. B. mehr nach dem Südpol desselben zu, so wird die Magnetnadel eine gegen den Magnet schiefe Lage einnehmen, siehe Figur 65, indem der Nordpol der Nadel mehr von dem Südpol des Magnets angezogen wird, als der Südpol der Nadel von dem Nordpol des Magnets (siehe das Gesetz der Polarität). Genau so verhält sich eine frei aufgehängte Magnetnadel in bezug auf die Erde, wenn man derselben eine magnetische Kraft zuschreibt. (Siehe Erkl. 151.)

Figur 64.

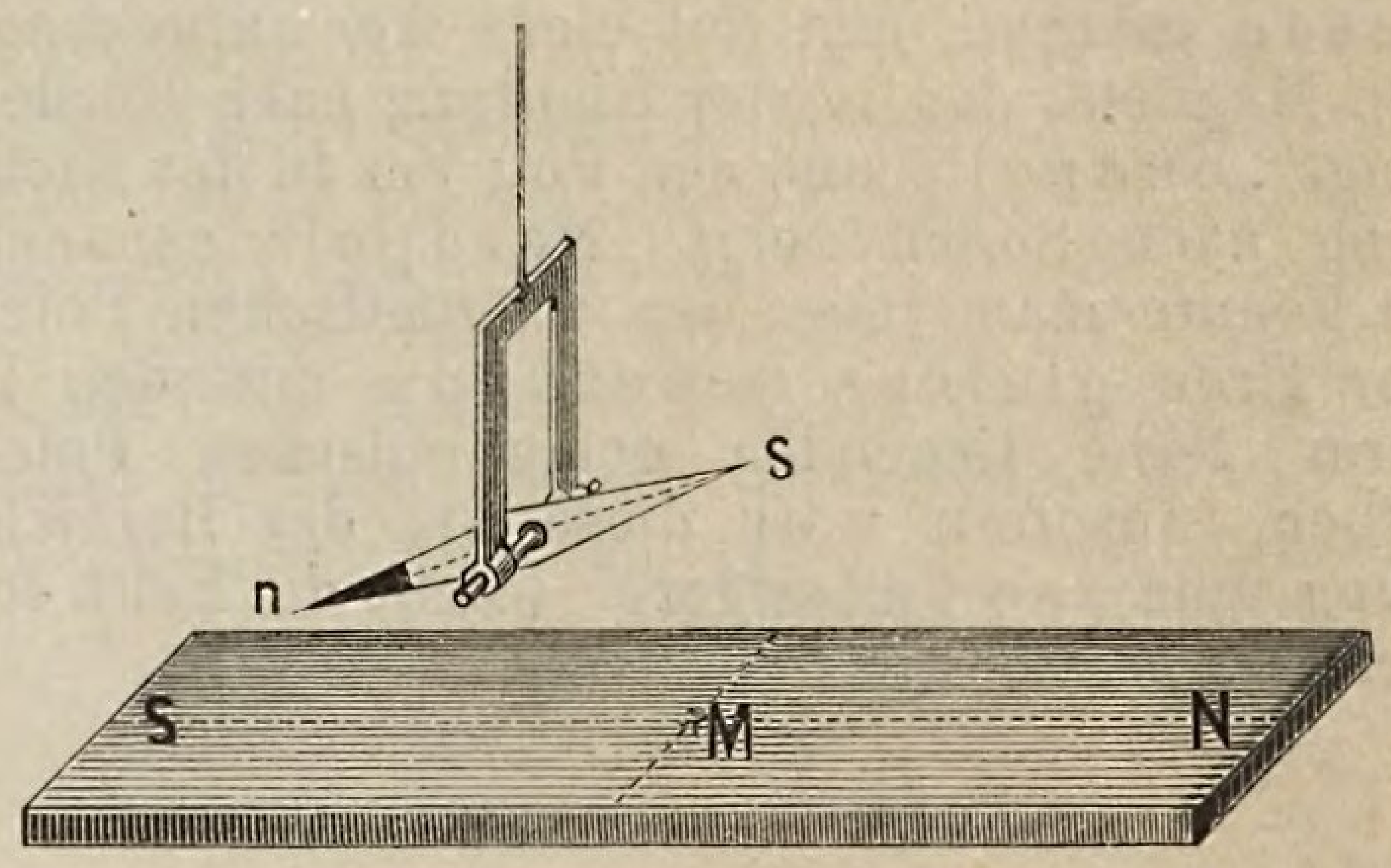


Erkl. 151. Damit nicht die Einrede gemacht werden kann, dass die Neigung der Magnetnadel gegen den Horizont, siehe Figur 63, eine Folge der Schwerkraft der Erde sei, kann man erst den Schwerpunkt der Nadel bestimmen und dann dieselbe magnetisieren. Und damit auch nicht die weitere Einrede gemacht werden kann, dass infolge des Magnetisierens der Schwerpunkt der Nadel verschoben worden sei (infolge der beim Magnetisieren hervorgerufenen neuen Lagerung der Moleküle), kann man der Ebene des Bügels *cdfg*, siehe Figur 63, verschiedene Lagen geben, man wird dabei die Wahrnehmung machen, dass sich hierdurch die Neigung der Magnetnadel gegen den Horizont ändert (siehe Inklination), während sie doch, wenn sie eine Folge der Schwerkraft der Erde wäre, an demselben Orte der Erde auch dieselbe bleiben müsste.

Wäre die Neigung eine Folge der Schwerkraft der Erde, so müsste ausserdem die Nadel nach dem Magnetisieren an Gewicht zugenommen haben, was nicht der Fall ist.

Erkl. 152. In einem späteren Abschnitt wird gezeigt, dass in der That, nach geten Magnetnadel zu dem eines bedeutend stärkeren unter dieser Magnetnadel befindlichen Magnets zu vergleichen. Nach dieser Vergleichung konnte die Behauptung aufgestellt werden, dass die Erde selbst magnetische Kraft besitzt, bezw. selbst wie ein grosser Magnet wirkt, dessen einer Pol in der Nähe des geographischen Nordpols und dessen anderer Pol in der Nähe des geographischen Südpols liegt (siehe Erkl. 152), indem sich nur hierdurch die konstante Richtung der magnetischen Axe der frei aufgehängten Magnetnadel in bezug auf die Himmelsgegenden Süd und Nord und die konstante Neigung dieser magnetischen Axe in bezug auf den Horizont, siehe Figur 63, welche analog der konstanten Richtung und Neigung einer über einem starken Magnet schwebenden Magnetnadel (siehe die Erkl. 150 und 151) ist, erklären lässt.

Figur 65.



Ein weiterer Beweis für den magnetischen Zustand der Erde ist der, dass, wenn ein weicher, sorgfältig ausgeglühter Eisenstab lotrecht, oder besser noch parallel der Richtung eines in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnets, siehe Figur 63, aufgehängt wird, vorübergehend magnetische Kraft annimmt, und zwar offenbart sich auf der nördlichen Hemisphäre der Erde im unteren Ende des Stabes Nordmagnetismus, im oberen Ende Südmagnetismus, wovon man sich mittels einer Probiernadel überzeugen kann. Kehrt man den Stab um, so wird sein Magnetismus auch sofort umgekehrt. Auf der südlichen Hemisphäre der Erde offenbart sich im unteren Ende des Stabes Südmagnetismus und im oberen Ende Nordmagnetismus. Diese Erscheinung lässt sich nur auf die induzierende Wirkung

nau angestellten Beobachtungen, die magnetischen Pole der als Magnet gedachten Erde in der Nähe der geographischen Pole liegen.

Der im Norden gelegene Magnetpol der Erde wurde im Jahre 1831 durch Kapitän *John Ross* nördlich von Amerika gefunden; der im Süden gelegene Magnetpol der Erde wurde später, im Jahre 1840 durch den Kapitän *Jones Clark Ross*, ein Sohn des ersteren, im Süden von der Ostküste Neuhollands entdeckt. (Siehe auch die Erkl. 279.)

Erkl. 153. Infolge der induzierenden Wirkung des Erdmagnetismus auf weiches Eisen sind auch die senkrechten Eisenstangen der Fensterkreuze magnetisch und haben an ihren unteren Enden einen Nordpol.

der als Magnet gedachten Erde (s. Antw. der Frage 40, Seite 21) zurückführen. Besteht jener Eisenstab nicht aus weichem Eisen, sondern aus Stahl, so ist die Koercitivkraft zu gross, als dass sie ohne weiteres von dem Erdmagnetismus überwunden werden könnte; in diesem Falle kann man den Einfluss des Erdmagnetismus durch Hammerschläge und andere Erschütterungen befördern. Dies ist auch der Grund, warum stählerne Werkzeuge, wie Hämmer, Feilen, Bohrer etc. durch längeren Gebrauch nach und nach polar-magnetisch werden. (Siehe auch Erkl. 153 und die Antw. der Frage 36, Seite 18.)

Frage 78. Wie müssen die magnetischen Pole der Erde bezeichnet werden?

Antwort. Da sich nach dem Gesetz der Polarität gleichnamige Magnetismen, bezw. gleichnamige Pole, abstossen, ungleichnamige aber anziehen, und da früher schon der in der Richtung nach Norden zeigende Pol eines frei aufgehängten Magnets mit dem Namen Nordpol, der in der Richtung nach Süden zeigende Pol mit dem Namen Südpol bezeichnet wurde, so muss man sich, um nicht mit dem Gesetz der Polarität in Widerspruch zu kommen, im nördlichen Teil der Erde Südmagnetismus, im südlichen Teil der Erde den Nordmagnetismus vorherrschend denken und dementsprechend den in der Nähe des geographischen Nordpols liegenden magnetischen Pol der Erde mit dem Namen „Südpol" und den in der Nähe des geographischen Südpols liegenden magnetischen Pol der Erde mit dem Namen „Nordpol" bezeichnen. — (Siehe die Erkl. 154.)

Erkl. 154. Hätte man, wie z. B. die Franzosen es thun, den Pol eines frei aufgehängten Magnets, der in der Richtung nach Norden zeigt „Südpol", und den Pol, der in der Richtung nach Süden zeigt „Nordpol" genannt, so könnte man jetzt den magnetischen Polen der Erde gleiche Benennung mit den in ihrer Nähe liegenden geographischen Polen geben. Insofern wäre diese Art der Bezeichnung eine zweckmässigere. (Siehe die Erkl. 46, Seite 12.)

Frage 79. Worin offenbart sich die magnetische Kraft der Erde; welchen weiteren Namen führt dieselbe und durch welche Data ist ihre Wirkung vollständig bestimmt?

Antwort. Die magnetische Kraft der Erde offenbart sich dadurch, dass sie, wie in Antwort der Frage 77 erwähnt, der magnetischen Axe eines jeden in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnets eine ganz bestimmte Richtung gibt, infolge dessen sie auch „richtende Kraft oder Richtungs-,

auch Direktionskraft der Erde“ genannt wird (siehe die Erkl. 155).

Die magnetische Kraft oder die Richtungskraft der Erde ist vollständig bestimmt, wenn man jene bestimmte Richtung und die Stärke, die Intensität kennt, mit welcher sie einen frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnet in jene bestimmte Richtung zu bringen sucht. (Siehe auch die Antwort der folgenden Frage).

Erkl. 155. Die in dem Abschnitte 2)., Seite 8, den Magneten zugesprochene Richt- oder Direktionskraft ist, wie sich aus nebenstehender Antwort ergibt, eine Folge der Wirkung des Erdmagnetismus (siehe auch die Erkl. 40, Seite 10).

Frage 80. Womit lässt sich die Totalwirkung des Erdmagnetismus auf einen frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnet vergleichen?

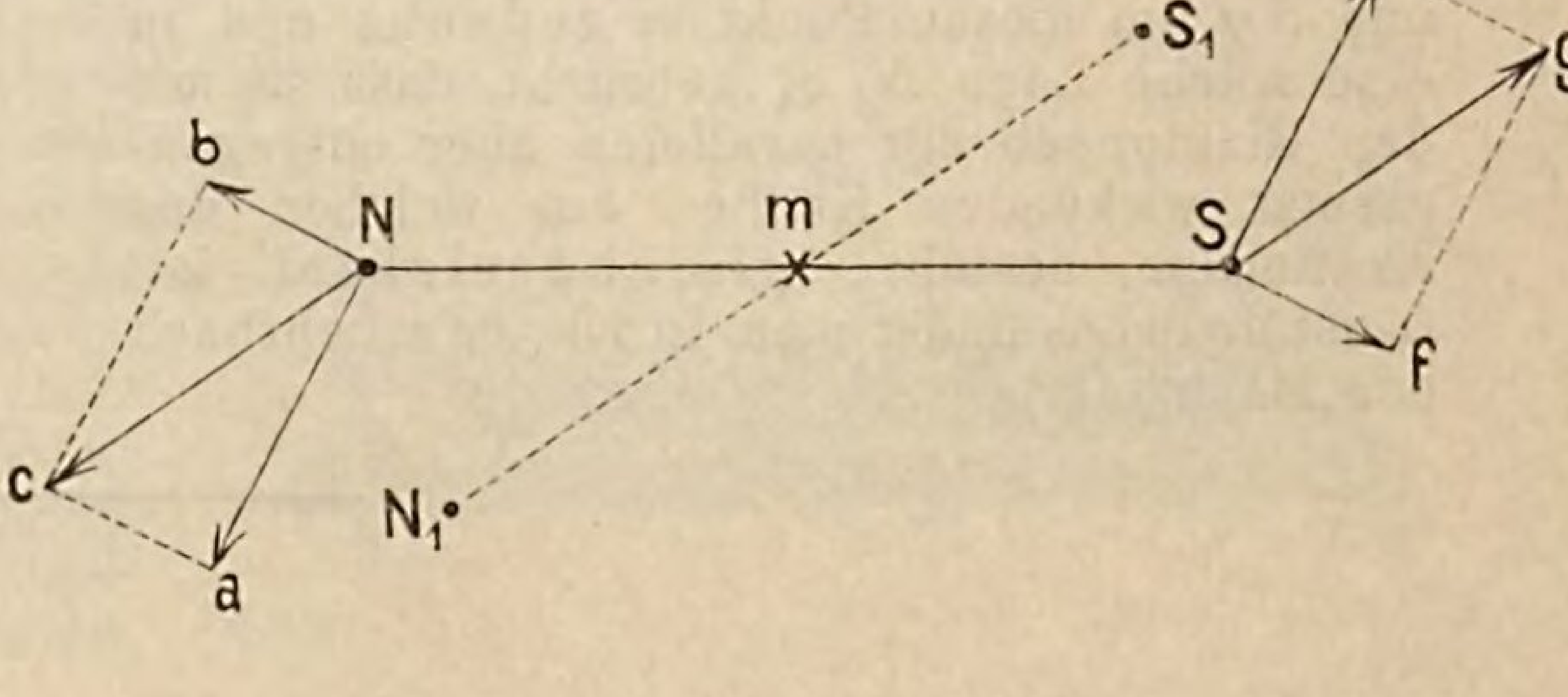
Erkl. 156. Legt man einen Magnet auf ein leichtes, in einem stillstehenden Wasser schwimmendes Holzbrettchen oder besser auf ein Korkstückchen, so dreht sich das Brettchen, ohne dabei fortzuschwimmen, mit dem Magnet so lange, bis der Nordpol des Magnets in die Richtung nach Norden, der Südpol in die Richtung nach Süden zeigt. Auf den Magnet wirkt also, wie in nebenstehender Antwort angegeben ist, nicht eine Kraft, die ihn zur fortschreitenden (progressiven) Bewegung veranlasst, sondern er bewegt sich unter der Wirkung eines Kraftpaares, welches ihm eine drehende Bewegung um seinen Schwerpunkt erteilt, wobei man sich die Pole des Magnets als die Angriffspunkte und die magnetische Axe als die Verbindungslinie derselben zu denken hat (siehe Erkl. 157).

Erkl. 157. Zur Vergleichung der Wirkung des Erdmagnetismus mit der Wirkung eines Kraftpaares dient folgendes:

In Figur 66 stellt NS eine Magnetnadel dar, deren Pole durch die Punkte N und S bezeichnet sind. Auf den Nordpol N dieser Nadel wirkt der magnetische Südpol der als Magnet gedachten Erde in irgend welcher (nicht bestimmbaren, auch einerlei in welcher) Richtung, z. B. in der Richtung Na, und zwar anziehend; ferner wirkt auf diesen Nordpol N auch der magnetische Nordpol der Erde und zwar wiederum in irgend einer (nicht bestimmbaren) Richtung, z. B. in der Richtung Nb, und zwar abstossend. Da nun in der nördlichen Hemisphäre der Erde der magnetische Südpol der Erde näher ist als der magnetische Nordpol (siehe Antwort der Frage 78), so ist die in der Richtung Na stattfindende Anziehung grösser, als die in der Richtung Nb stattfindende Abstossung, was durch die verschiedenen Längen der Strecken Na

Antwort. Da die magnetische Axe eines frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnets, d. i. die Entfernung der magnetischen Pole derselben, in bezug auf die magnetische Axe der als ein grosser Magnet gedachten Erde verschwindend klein ist, da also z. B. der magnetische Südpol der Erde auf den Nordpol des Magnets eine ebenso grosse Anziehung als auf den Südpol des Magnets Abstossung ausübt, so ist eine progressive, fortschreitende, Bewegung des Magnets infolge der magnetischen Einwirkung der Erde ausgeschlossen, was auch durch die Erfahrung bestätigt wird (siehe die Erkl. 156), und man muss die Wirkung des Erdmagnetismus mit der Wirkung eines Kräftepaares vergleichen (siehe die Erkl. 157), welches nur eine drehende Bewegung um den Schwerpunkt des Magnets hervorrufen kann, bis die Richtung der magnetischen Axe mit jener bestimmten Richtung zusammenfällt. (Siehe die Erkl. 158.)

Figur 66.



und Nb angedeutet ist. Konstruiert man nunmehr nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte über den Strecken Na und Nb, welche ihrer Richtung nach die Richtungen des auf den Pol N wirkenden Nord- und Südmagnetismus der Erde, ihrer Grösse nach die Intensität dieser Kräfte derselben, das Parallelogramm $Nacb$, so ist die Diagonale Nc die Resultante jener auf den Pol N seitlich wirkenden Kräfte (Komponenten) Na und Nb.

Auf den Südpol S der Nadel, siehe Figur 66, wirkt der magnetische Südpol der Erde, in derselben Richtung und mit derselben Intensität wie auf den Pol N (da die magnetische Axe NS verschwindend kleiner gegen die magnetische Axe der Erde ist), aber nach dem Gesetz der Polarität abstossend, also in der zu Na parallelen aber entgegengesetzten Richtung Sd; ferner wirkt auf diesen Südpol S auch der magnetische Nordpol der Erde in derselben Richtung und mit derselben Intensität wie auf den Pol N, aber anziehend, also in der zu Nb parallelen aber entgegengesetzten Richtung Sf.

Da die Intensitäten der in den Richtungen Na und Sd, bezw. in den Richtungen Nb und Sf wirkenden anziehenden und abstossenden Kräfte gleich sind, so muss auch $Sd = Na$ und $Sf = Nb$ sein. Konstruiert man nunmehr über den Strecken Sd und Sf das Parallelogramm $Sdgf$, so ist die Diagonale Sg die Resultante jener auf den Pol S seitlich wirkenden Kräfte (Komponenten) Sd und Sf. Da, wie sich aus der Figur 66 ergibt, die Resultanten Nc und Sg ihrer Richtung nach parallel und entgegengesetzt, ihrer Grösse nach gleich sind, da also die in ihrem Schwerpunkt m drehbare Magnetnadel NS in ihren Polen von zwei parallelen aber entgegengesetzten und gleichen Kräften angegriffen wird, so kann sie nach der Erkl. 158 nur eine Drehung um ihren Schwerpunkt machen und muss die den Resultanten Nc und Sg parallele Richtung $N_1 S_1$ annehmen.

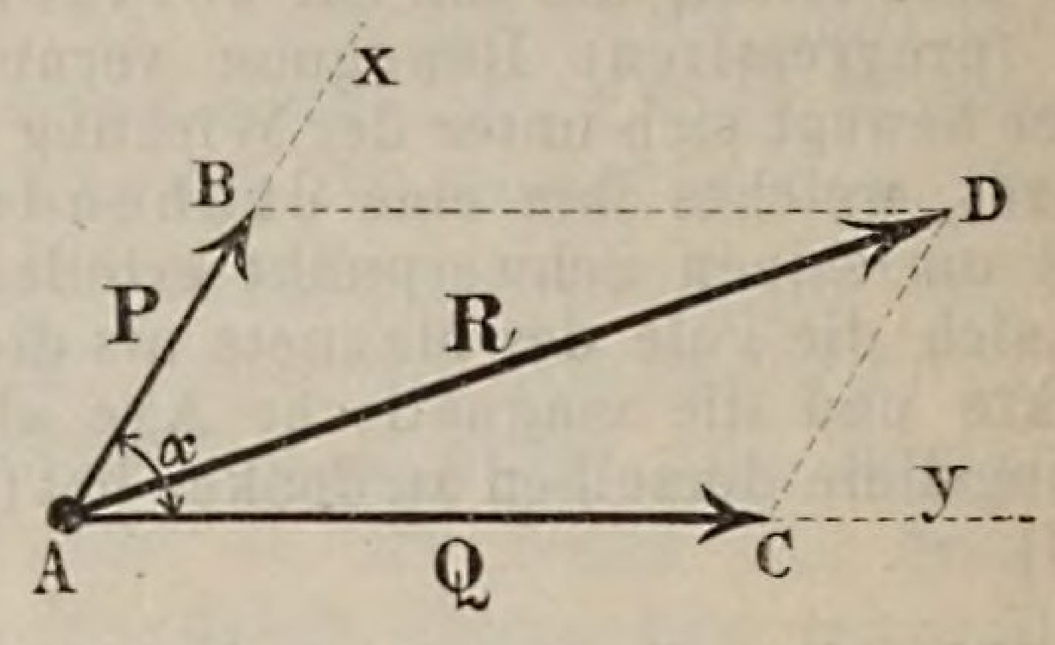
Erkl. 158. Wirken an zwei Punkten eines Körpers, bezw. an zwei Punkten einer materiellen Geraden zwei gleiche Kräfte in paralleler aber entgegengesetzter Richtung, wie die Kräfte Nc und Sg in Figur 66, so nennt man diese Kräfte ein „Kräftepaar" oder „Gegenpaar". Ist jene materielle Gerade NS um einen festen Punkt m drehbar, so wird sie durch den Einfluss des Kräftepaares Nc und Sg um diesen Punkt m gedreht und in eine solche Lage $N_1 S_1$ gebracht, dass sie mit den Richtungen der parallelen aber entgegengesetzt wirkenden Kräfte, aus welchen das Kräftepaar besteht, gleichgerichtet ist. (Ausführliches findet man in Kleyer's Lehrbuch der Mechanik.)

Erkl. 157a. Die Kraft, durch welche die Wirkung mehrerer, an einem Körper (Punkt) gleichzeitig wirkender Kräfte ersetzt werden kann, nennt man „Resultante"; jene Kräfte heissen alsdann „Seitenkräfte" oder „Komponenten".

Erkl. 157b. Ein Lehrsatz aus der Mechanik heisst:

„Wirken 2 Kräfte P und Q, siehe Figur 67, deren Richtungen und Intensitäten, bezw. durch die Richtungen AB und AC dargestellt sind, unter einem beliebigen Winkel α auf einen beweglichen materiellen Punkt A, so ist die Resultante R dieser Kräfte, sowohl ihrer Richtung als Grösse nach, gleich der Diagonale AD des über den Kräften P und Q, bezw. über den Strecken AB und AC konstruierten Parallelogramms $ABDC$" (siehe Kleyer's Lehrbuch der Mechanik).

Figur 67.



2). Ueber die allgemeine Bestimmung der Lage eines frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnets.

Frage 81. In bezug auf welche zwei Ebenen wird die bestimmte Richtung, welche einem in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnet infolge der richtenden Kraft der Erde mitgeteilt wird, festgelegt?

Erkl. 159. Ebenen, in bezug auf welche im Raume liegende Punkte und Linien festgelegt werden, und deren Lagen zu einander deshalb vollständig bekannt sein müssen, nennt man „Koordinatenebenen". (Ausführliches hierüber findet man in Kleyer's Lehrbuch der analytischen Geometrie.)

Nachstehende Erklärungen 160—173 aus der sphärischen Astronomie mögen zur Erläuterung einiger in dem Abschnitt „Ueber den Erdmagnetismus" vorkommenden Ausdrücke dienen.

(Ausführliches findet man in Kleyer's Lehrbuch der Astronomie.)

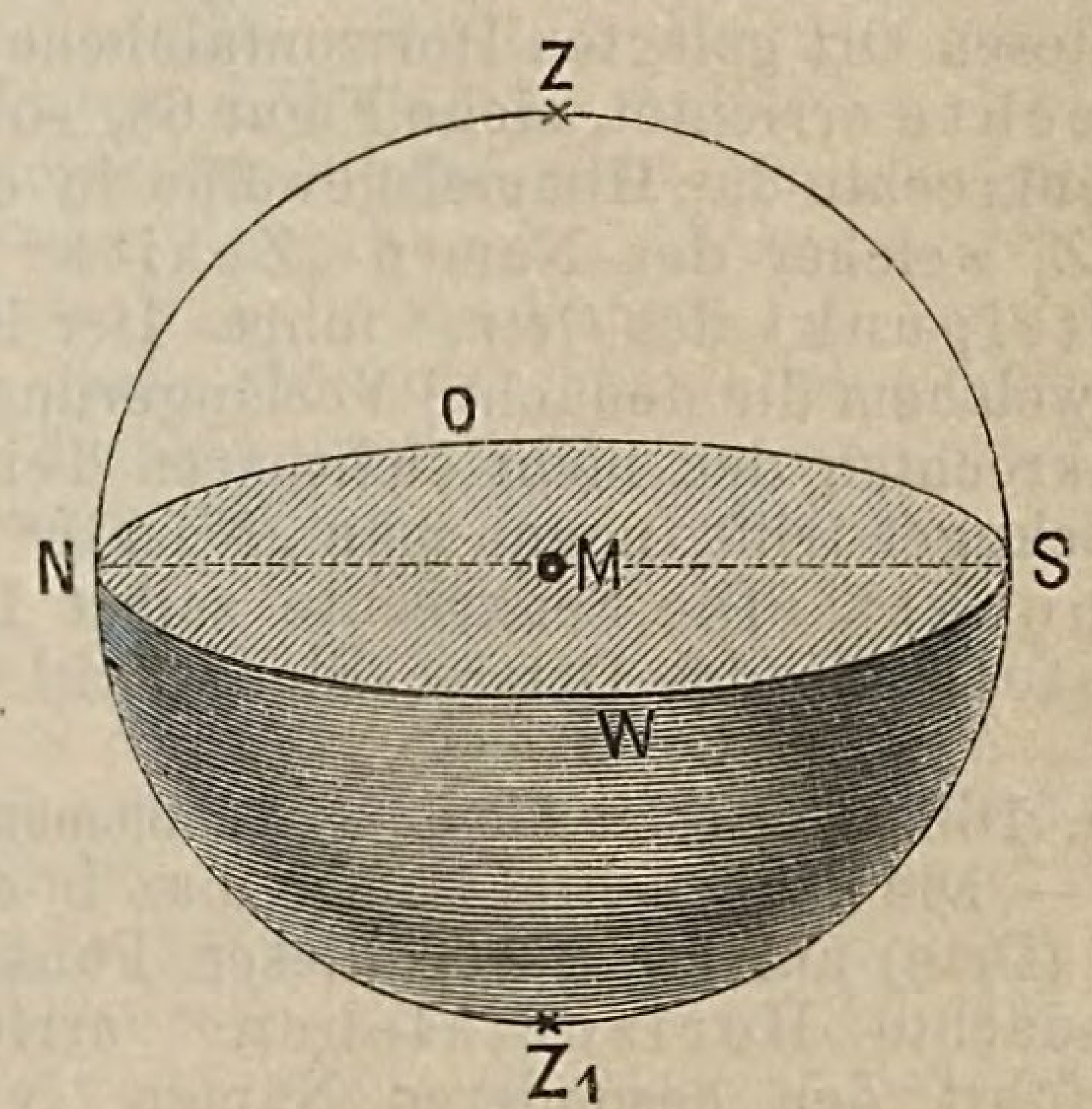
Erkl. 160. **Gestalt des Himmels.** — Auf einer freien Ebene, mit ungehinderter Aussicht, erscheint bei Tag die Erde als eine ebene Kreisfläche NS, siehe Figur 68, in deren Mitte M sich der Beobachter befindet und über welcher sich der „Himmel" in Form einer halben Hohlkugel NZS wölbt, daher die Bezeichnung „Himmelsgewölbe" für die scheinbare Gestalt des Himmels.

Da dieselbe Erscheinung auf jedem Punkte der Erdkugel stattfindet, so müsste dieser Erscheinung entsprechend der Himmel eine volle Hohlkugel $NZSZ_1$ sein, in deren Mitte M sich die Erde befindet, welche man sich bei Betrachtung des unermesslich grossen Himmelsgewölbes, im Verhältnis zu dieser, als sehr klein, als Punkt zu denken hat. Aus diesem Grunde spricht man auch von einer „Himmelskugel".

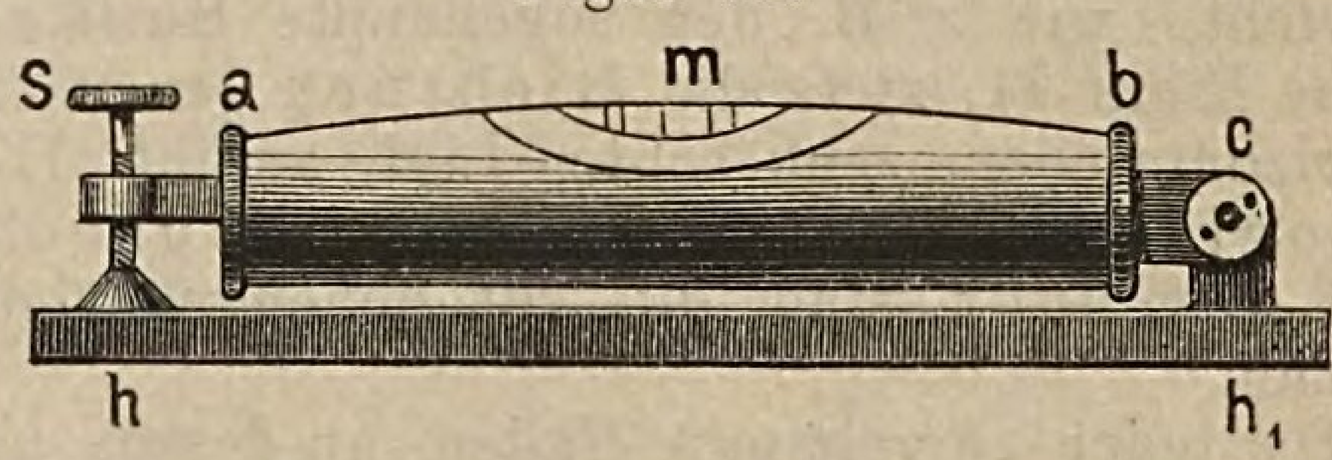
Erkl. 161. **Horizont** und **Horizontalebene.** — Die Kreislinie $NOSW$, siehe Figur 68, in welcher das Himmelsgewölbe die Erde zu durchschneiden scheint und in deren Mittelpunkt M sich scheinbar der Beobachter befindet, heisst im allgemeinen „Horizont" (kommt v. gr. und heisst „Begrenzer"). Die Ebene dieser Kreislinie, dieses Horizonts, und jede beliebige andere, aber mit dieser Ebene parallelen Ebene nennt man „Horizontalebene" ober „wagrechte", auch „wasserrechte" Ebene; letzteres aus dem Grunde, weil ein am Beobachtungsort stillstehendes Wasser mit seinem Wasserspiegel in jener Ebene liegt, bezw.

Antwort. Um die bestimmte Richtung, welche einem in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnet infolge der richtenden Kraft der Erde (infolge des Einflusses des Erdmagnetismus) mitgeteilt wird, festzulegen, bedient man sich zweier solcher Ebenen, als sogenannte „Koordinatenebenen" (siehe Erkl. 159), deren Lagen zu jeder Zeit und an jedem Orte der Erde leicht bestimmt werden können. Man bedient sich nämlich der Horizontalebene des Ortes und der Ebene des astronomischen Meridians des Ortes. Diese beiden Ebenen stehen senkrecht zu einander und können ihrer Lage nach auf leichte Weise bestimmt werden. — (Siehe die Erkl. 161 u. 172, und zum Verständnis derselben die übrigen Erkl. 159—171.)

Figur 68.



Figur 69.



parallel jener Ebene ist, was zugleich ein Mittel an die Hand gibt, eine Horizontalebene zu bestimmen (siehe Erkl. 162). (Ausführliches über den Horizont findet man in Kleyer's Lehrbuch der Astronomie.)

Erkl. 162. **Bestimmung einer Horizontalebene.** — Zur Bestimmung einer Horizontalebene, einer wag- oder wasserrechten Ebene bedient man sich gewöhnlich und besonders bei astronomischen Instrumenten der sogenannten „Wasserwage" oder „Libelle", welche in 2 Formen als „Röhrenlibelle", siehe Figur 69, und als „Dosenlibelle", siehe Figur 70, in Anwendung kommt. Eine solche Libelle wird auf eine ebene Fläche gesetzt und dieselbe in ihrer Lage so lange verändert (wozu mancherlei Vorrichtungen dienen), bis die Luftblase in der Libelle einspielt, d. h. genau in der Mitte der Libelle steht, in diesem Augenblick ist jene Ebene mit der in der Libelle befindlichen ruhenden Wasserspiegelfläche parallel und stellt eine horizontale Ebene dar (siehe auch Erkl. 166). (Ausführliches über den Gebrauch, Prüfung und Berichtigung der Libellen findet man in Kleyer's Lehrbuch der „Geodäsie".)

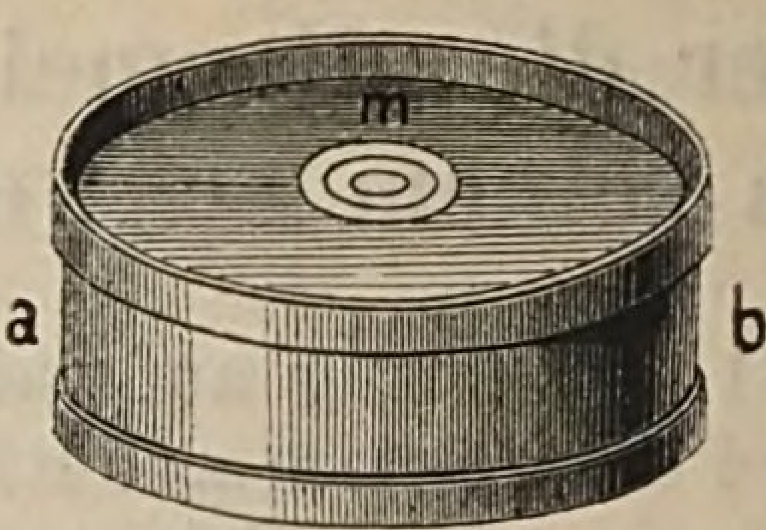
Erkl. 163. Der Horizont eines Ortes ist für jeden Ort der Erde ein anderer, da die Erde eine Kugel ist. Jeder Horizont teilt die Himmelskugel in 2 Kugelteile oder Hemisphären, nämlich in die obere oder sichtbare Hemisphäre NZS und die untere oder unsichtbare Hemisphäre NZ_1S (siehe Fig. 68).

Erkl. 164. **Zenith (Scheitelpunkt), Scheitellinie.** — Denkt man sich in dem Beobachtungsort auf der durch diesen Ort gelegten Horizontalebene eine Senkrechte errichtet, siehe Figur 68, so trifft diese Senkrechte das Himmelsgewölbe in einem Punkt Z, welcher den Namen „Zenith" oder „Scheitelpunkt des Ortes" führt. Der Punkt Z_1, in welchem die gedachte Verlängerung dieser Senkrechten den nicht sichtbaren Teil der Himmelskugel trifft, nennt man „Nadir" oder „Fusspunkt". Die Senkrechte selbst heisst „Scheitellinie des Orts". (Siehe Erkl. 165.)

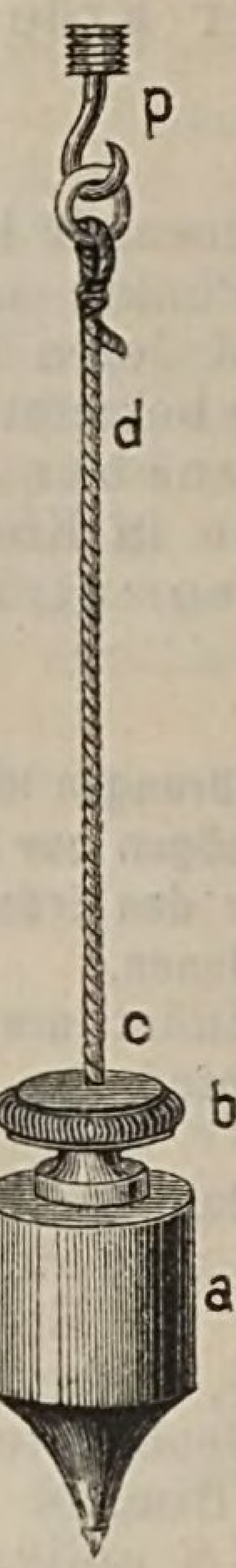
Erkl. 165. **Lotrechte Linie. — Bestimmung des Zeniths.** — Die Senkrechte, welche man in einem Punkte (Orte) auf die durch diesen Punkt gelegt gedachte Horizontalebene errichten kann, führt den besonderen Namen „vertikale" oder „lotrechte" Linie; letzteres aus dem Grunde, weil ein „Lot", d. i. im allgemeinen ein an einem Faden hängendes Bleigewicht, wie z. B. der sogenannte Senkel, siehe Figur 71, stets die Richtung jener zur Horizontalebene senkrechten Linie angibt. Horizontal und vertikal, ebenso wagrecht und lotrecht sind die zusammengehörigen Namen.

Da jeder aufgehängte Faden, an dessen unterem Ende ein schwerer Körper befestigt ist,

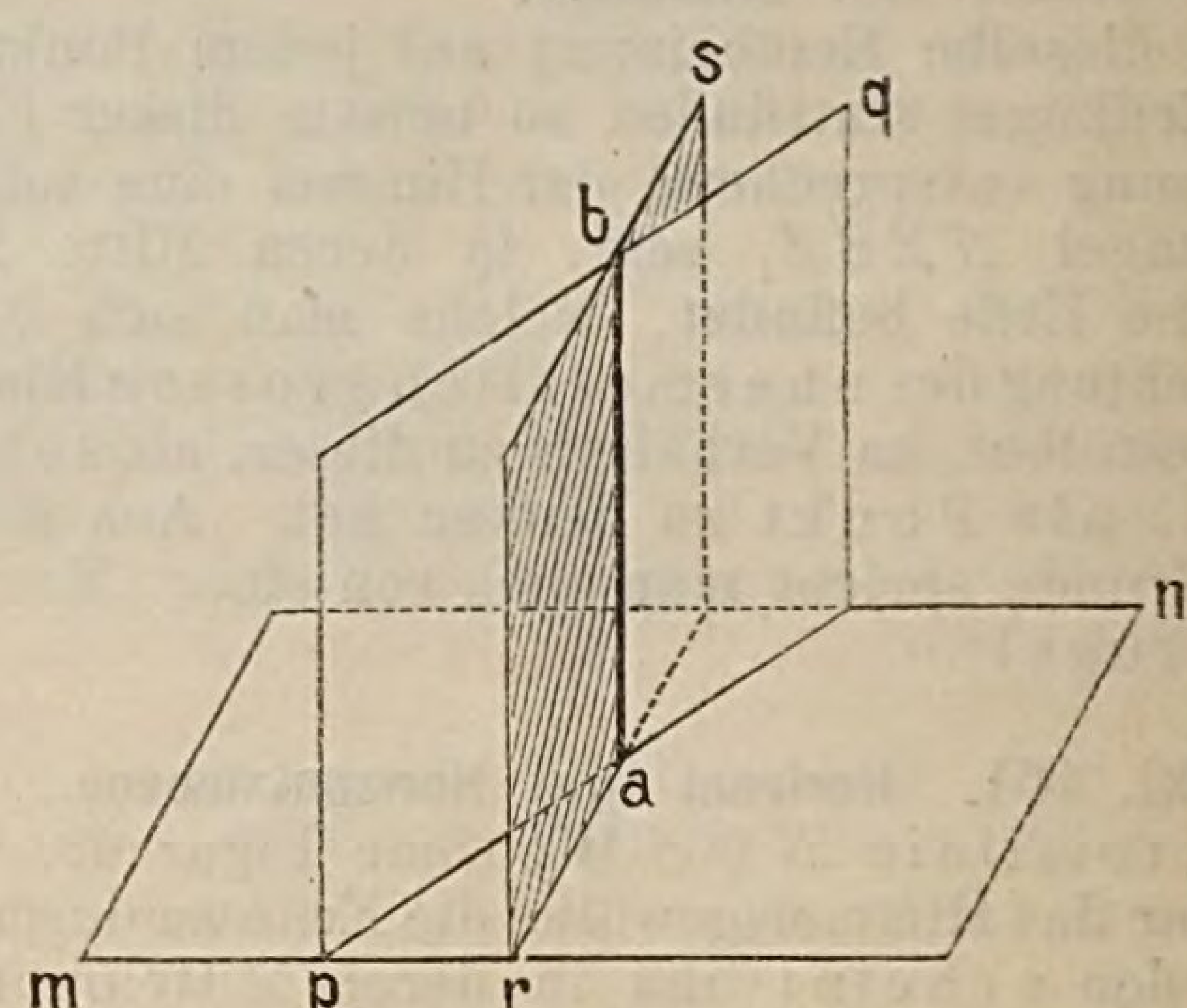
Figur 70.



Figur 71.



Figur 72.



Erkl. 165a. Die Richtung eines frei hängenden Fadens, an dessen unterem Ende ein schwerer Körper befestigt ist, siehe Figur 71, geht, an welchem Punkte der Erde jene Vorrichtung auch aufgehängt werden mag, durch den Mittelpunkt der als Kugel gedachten Erde. Diese Richtung gibt die Richtung der Schwerkraft der Erde an, in welcher sie auf jenen schweren Körper wirkt.

senkrecht zu der durch den Ort gelegt gedachten Horizontalebene ist, so kann man die Scheitellinie und den Zenith eines Orts hiernach leicht bestimmen.

Erkl. 166. Da die Scheitellinie eines Orts mittels eines Instruments, wie Figur 71 zeigt, leicht bestimmt werden kann, so kann man dieselbe auch benutzen, um eine horizontale Ebene herzustellen, indem jede Ebene, welche senkrecht zu jener Scheitellinie (vertikalen Linie) gelegt wird, eine horizontale Ebene darstellt.

Erkl. 167. Jede durch die Scheitellinie eines Orts gelegte Ebene steht senkrecht auf der Horizontalebene dieses Orts (siehe Erkl. 167[a]).

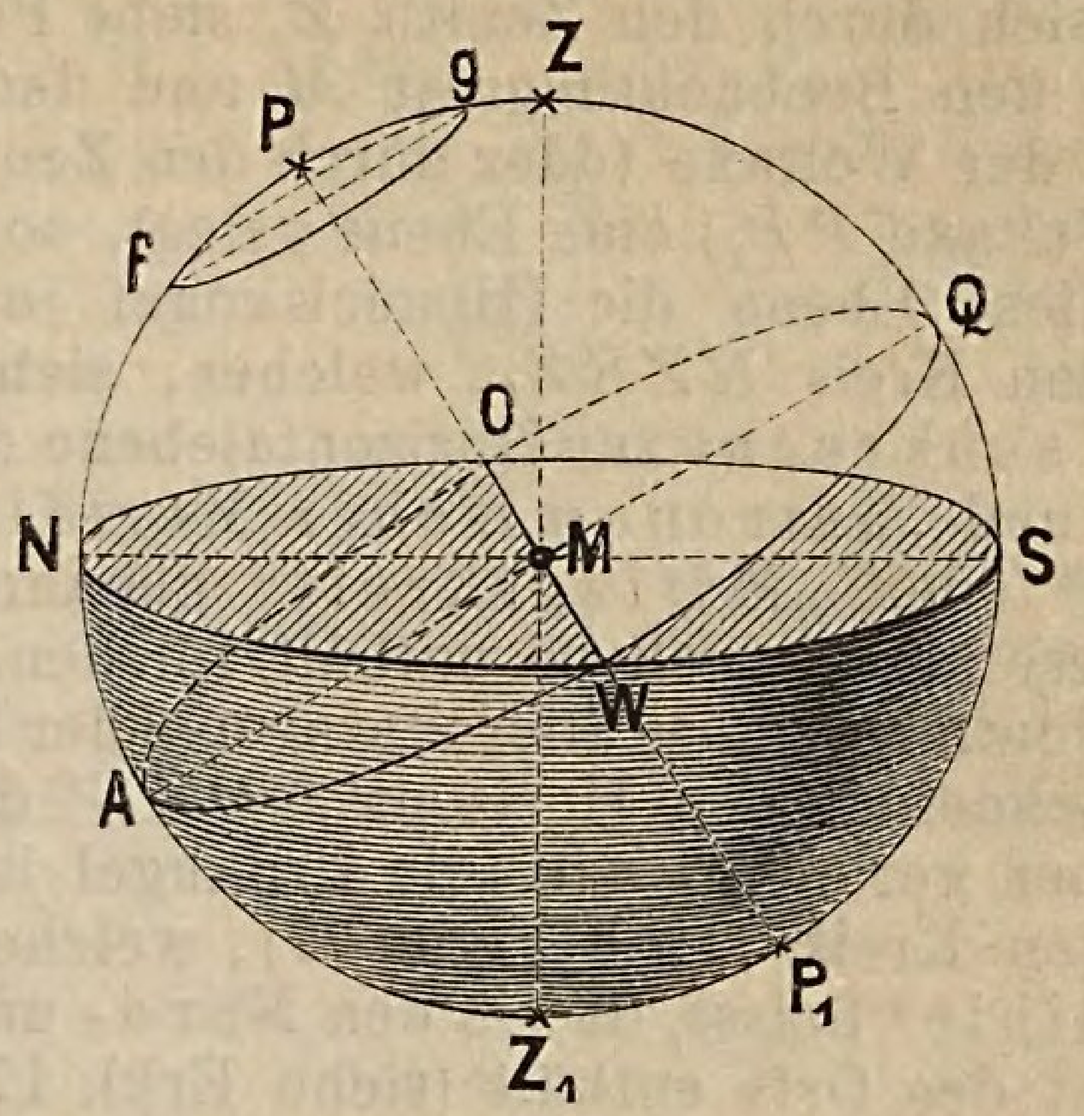
Erkl. 168. **Weltaxe und Pole derselben.** — Betrachtet man das Himmelsgewölbe in einer sternenhellen Nacht, so erscheint es, als wären diese Sterne an dem Himmelsgewölbe befestigt (daher der Name: Fixsterne) und würden mit dem Himmelsgewölbe eine gemeinsame Drehung um eine feste Axe, der sogenannten „Weltaxe“ machen.

Bei dieser täglichen Umdrehung des Himmelsgewölbes erscheint es, als würden sich die Sterne (was man am Tage am besten an der Sonne sehen kann) über den Horizont erheben, am Himmel einen Kreisbogen beschreiben, den höchsten Punkt, den sogenannten „Kulminationspunkt“ erreichen, dann wieder nach dem Horizont herabsteigen und unter demselben verschwinden. Je näher die Sterne den Endpunkten der gedachten Weltaxe, um welche sich alles zu drehen scheint, liegen, um so kleiner müssen jene Kreise sein. Bei genauer Beobachtung des Himmels wird man auch solche Sterne finden, deren tägliche Umdrehung ganze (sichtbare) Kreisbögen, wie fg, siehe Figur 73, beschreiben, die immer kleiner und kleiner werden, je näher sich die betreffenden Sterne einem gewissen Punkte des Himmelsgewölbes, dem für uns sichtbaren einen Endpunkt P der Weltaxe befinden.

Die Endpunkte der Weltaxe nennt man „Pole“ (wie die Endpunkte einer jeden Drehaxe); der für uns sichtbare Pol P heisst „Nordpol“ (weil er in der Richtung nach Norden, siehe Erkl. 171, liegt), der für uns unsichtbare Pol P_1 heisst „Südpol“. Die in der Nähe der Pole liegenden Sterne, deren tägliche Umdrehung wir ganz beobachten können, heissen Circumpolarsterne. Der bekannteste dieser Circumpolarsterne ist der sogenannte „Polarstern“. (Siehe die Erkl. 168[a] u. [b].)

Erkl. 169. **Himmels-Aequator.** — Denkt man sich durch den Beobachtungsort M, siehe Figur 73, eine Ebene senkrecht zur Weltaxe PP_1 gelegt, so schneidet diese die Himmelskugel in dem grössten Kreis AQ, welcher Himmelsäquator genannt wird.

Figur 73.



Erkl. 167[a]. Ein stereometrischer Lehrsatz heisst:

„Steht eine Linie ab, siehe Figur 72, senkrecht auf einer Ebene mn, so steht auch jede durch diese Linie ab gelegte Ebene, wie pq und rs, senkrecht auf jener Ebene mn.“

Erkl. 168[a]. Die Kreisbogen, welche bei der täglichen Bewegung des Himmelsgewölbes die Sterne zu beschreiben scheinen, muss man sich unter dem Horizont fortgesetzt denken. Die über dem Horizont liegenden Bögen jener Kreisbögen nennt man Tagebogen, die unter dem Horizont liegenden Nachtbogen. Stellt z. B. in Figur 73 der Kreisbogen $AWQO$ die tägliche scheinbare Bewegung der Sonne vor, so ist der Bogen OQW der Tagebogen, der Bogen WAO der Nachtbogen. Im Punkte Q erreicht die Sonne ihren höchsten Stand über dem Horizont, deshalb ist Q der sogenannte Kulminationspunkt.

Erkl. 168[b]. Der in der Nähe des Nordpols der Weltaxe liegende sogenannte „Polarstern“ ist ein ziemlich heller Stern und leicht aufzufinden. Er gehört dem Sternbild des „kleinen Bären“ an. Um denselben zu finden, sucht man sich das Sternbild des „grossen Bären“ oder „Wagens“, siehe Figur 74, auf, denkt sich die durch α und β bezeichneten Sterne verbunden, verlängert, und die Strecke $\alpha\beta$ 5—6 mal auf dieser Verlängerung abgetragen, so wird man nahezu den Polarstern erhalten. In der Nähe desselben befindet sich der Nordpol der Weltaxe.

Vor der Erfindung des Kompasses war die genaue Kenntnis des Nordpols der Weltaxe für die Schiffahrt von grösster Wichtigkeit.

(Ueber die Veränderung des Polarsterns etc. siehe Kleyer's Lehrbuch der Astronomie.)

Erkl. 170. Meridian, Mittagslinie. — Denkt man sich durch den Zenith Z, siehe Figur 73, durch den Beobachtungsort M und den Nordpol P der Weltaxe (oder durch den Zenith und die Weltaxe PP_1) eine Ebene gelegt, so schneidet diese Ebene die Himmelskugel in einem grössten Kreis $NZSZ_1$, welcher, siehe Erkl. 167a, senkrecht zur Horizontalebene des Orts steht und „astronomischer Meridian des Orts" oder „Mittagskreis" genannt wird. Diese Meridianebene enthält für den Ort die Kulminationspunkte aller Sterne und der Sonne, und schneidet den Horizont $NOSW$ des Orts in einer geraden Linie (die Erdkugel in einem grössten Kreis, siehe Figur 77), welche „Mittagslinie" heisst, da sie den Nord- und Südpunkt des Orts enthält (siehe Erkl. 171).

Erkl. 171. Nord-, Süd-, Ost- und Westpunkt. — Die Richtung, in welcher die Sonne steht, wenn sie ihren höchsten Stand, ihren Kulminationspunkt erreicht hat, wenn sie sich also im Meridian des Orts befindet, heisst „Südgegend", die entgegengesetzte „Nordgegend", die hierzu senkrechte Richtung, wo die Sonne am Horizonte aufgeht, heisst „Ostgegend", die dieser entgegengesetzte „Westgegend".

Ferner nennt man dementsprechend die Punkte, in welchen der Meridian des Orts den Horizont schneidet, „Süd- und Nordpunkt" (ersterer liegt in der Süd-, letzterer in der Nordgegend). Die Verbindungslinie dieser beiden Punkte ist die „Mittagslinie" (siehe Erkl. 170). Denkt man sich im Beobachtungsorte eine Senkrechte zur Mittagslinie errichtet, so trifft dieselbe den Horizont im sogenannten „Ost- und Westpunkte" (ersterer liegt in der Ost-, letzterer in der Westgegend). Dementsprechend ist die Bezeichnung der Punkte N, S, O, W in Figur 73 erfolgt. Diese 4 Punkte nennt man auch die „Kardinalpunkte" (siehe Erkl. 171a).

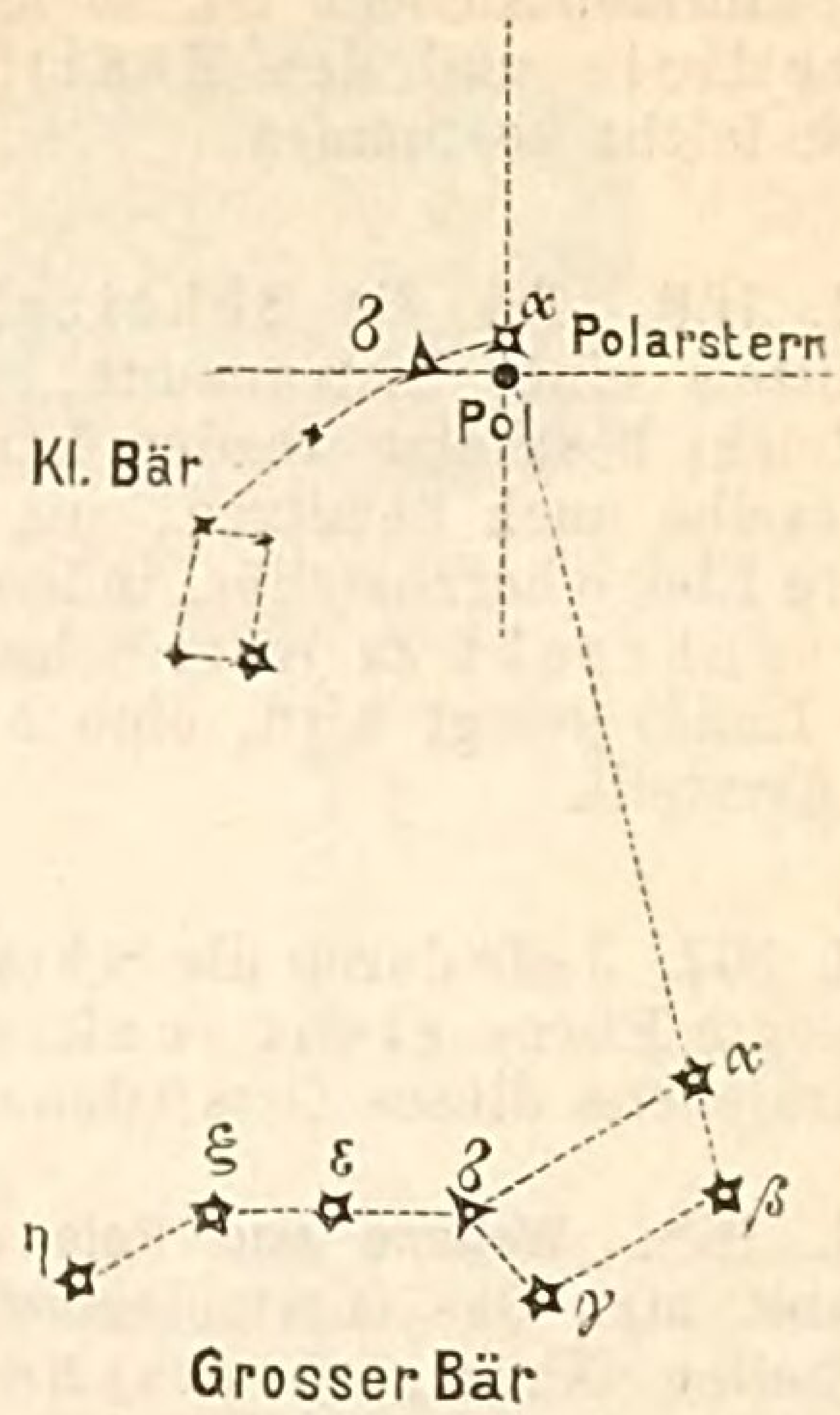
Erkl. 172. Bestimmung des Meridians oder der Mittagslinie eines Orts. — Die Bestimmung des Meridians eines Orts kann auf verschiedene Arten geschehen:

1). Mittels des Kompasses (siehe den Abschnitt, welcher über den Kompass handelt).

2). Mittels der Schattenlänge der Sonne.

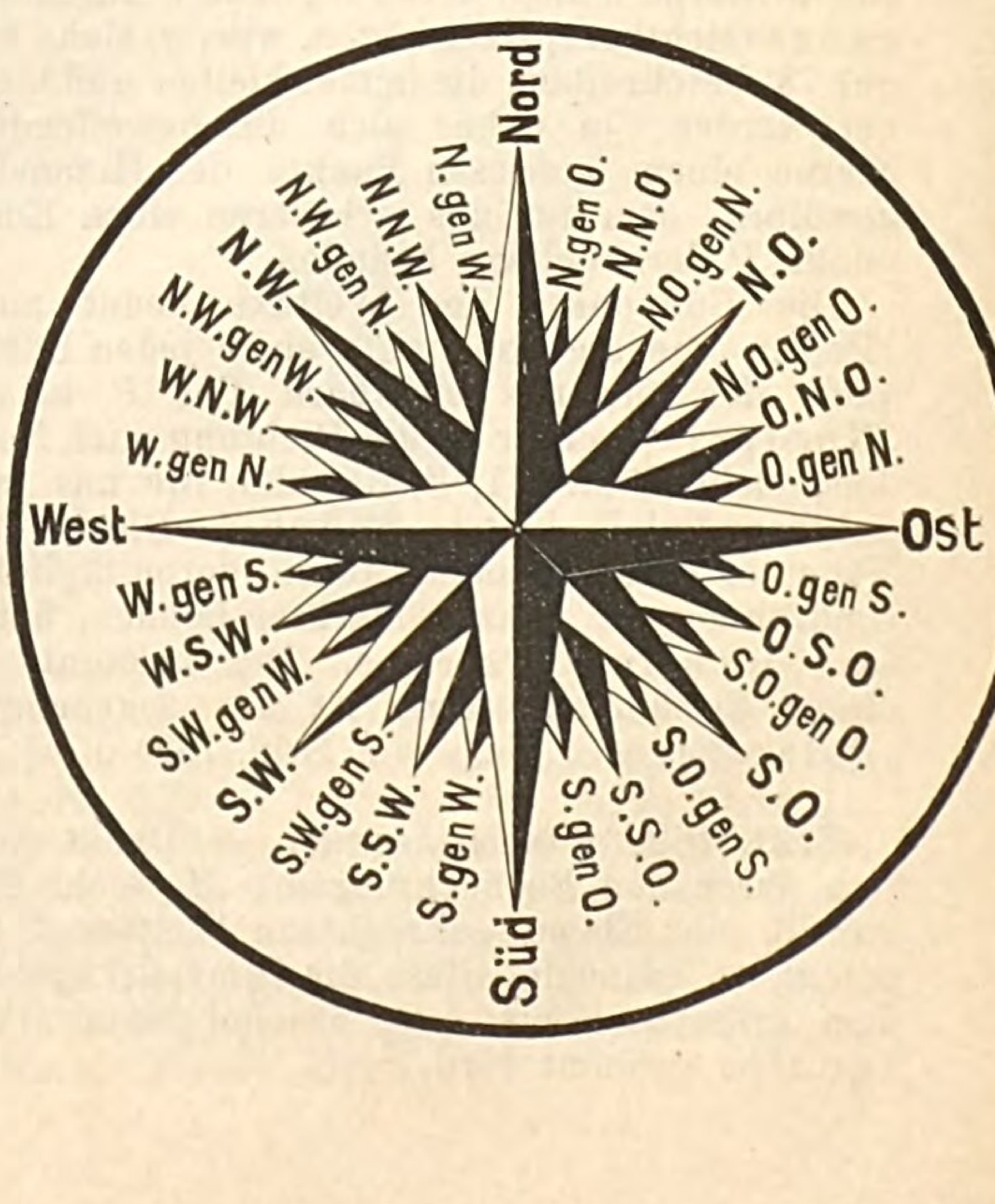
Auf einer horizontalen Ebene zieht man, wie Figur 76 zeigt, eine Anzahl konzentrischer Kreise und errichtet in dem Mittelpunkt M einen senkrechten Stab MA. Wird dieser Stab von der Sonne beschienen, so wirft er einen Schatten, der mit steigender Sonne stetig kleiner, mit sinkender Sonne stetig wieder grösser wird. Fixiert man verschiedene Schattenlängen Vor- und Nachmittags auf den Peripherien jener konzentrischen Kreise mittels der Buchstaben a, a_1, b, b_1, c, c_1 etc. und berücksichtigt, dass wenn 2 Schatten, Ma und Ma_1 oder Mb und Mb_1 Vor- und Nachmittags gleich lang sind, in diesen zwei Augenblicken

Figur 74.



Erkl. 171a. Ausser den 4 Himmelsgegenden Nord, Süd, Ost, West, den sogenannten Hauptweltgegenden oder Kardinalpunkten des Horizonts, hat man noch durch symmetrische Einteilung der zwischen denselben liegenden 4 Quadranten sogenannte Zwischen- oder Nebengegenden festgelegt und eine solche Einteilung, welche beim Kompass (siehe Antw. der Frage 94) Verwendung findet, „Windrose" genannt. Die Einteilung einer Windrose ist auf der Figur 75 ersichtlich; nach derselben unterscheidet man 32 Weltgegenden oder Windstrichen. Die Leseweise derselben ist aus der Figur 75 ersichtlich (siehe auch die Erkl. 203).

Figur 75.



die Sonne Vor- resp. Nachmittags gleichweit vom Kulminationspunkt, bezw. von dem Meridian des Orts oder von der Südgegend entfernt ist, so gibt die den Winkel $a\,Ma_1$ oder den Winkel $b\,Mb_1$ oder den Winkel $c\,Mc_1$ halbierende Gerade die Mittagslinie NS an. Die zu NS senkrechte Linie gibt die Ost- und Westrichtung an. Denkt man sich ferner durch die Mittagslinie NS eine Ebene gelegt, so ist dies die Meridianebene des Orts.

3). Mittels zweier gleichen Sonnenhöhen.

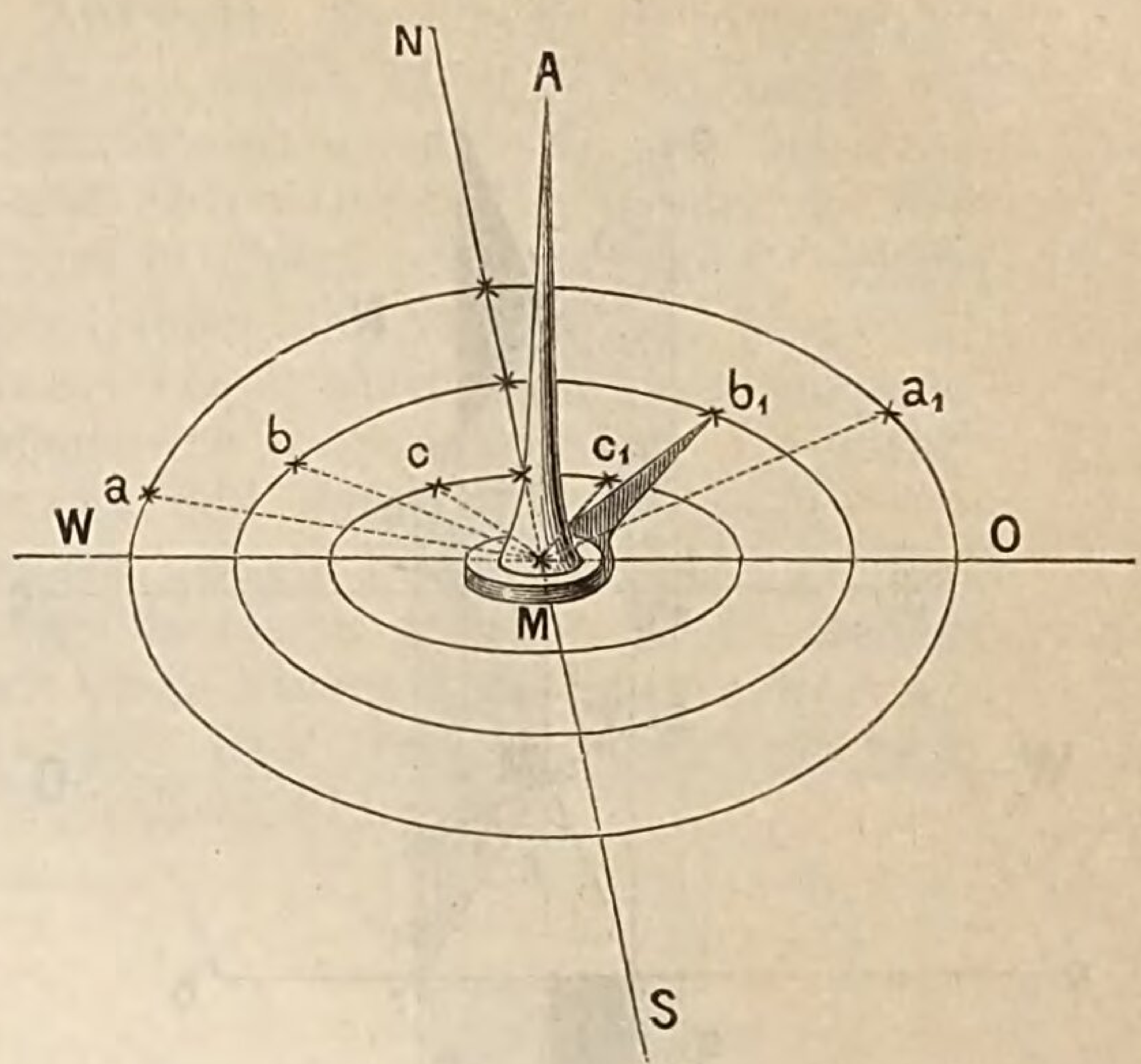
Man beobachtet mittels eines Theodoliths (siehe Antwort der Frage 103) zu verschiedenen Zeiten zwei gleiche Sonnen (oder Sternhöhen) und halbiert alsdann den Winkel, welchen die beiden verschiedenen Richtungen des Fernrohres des Theodoliths in ihren Horizontalprojektionen bilden. Siehe die Antwort der Frage 104.

4). Mittels der Beobachtung von Circumpolarsternen.

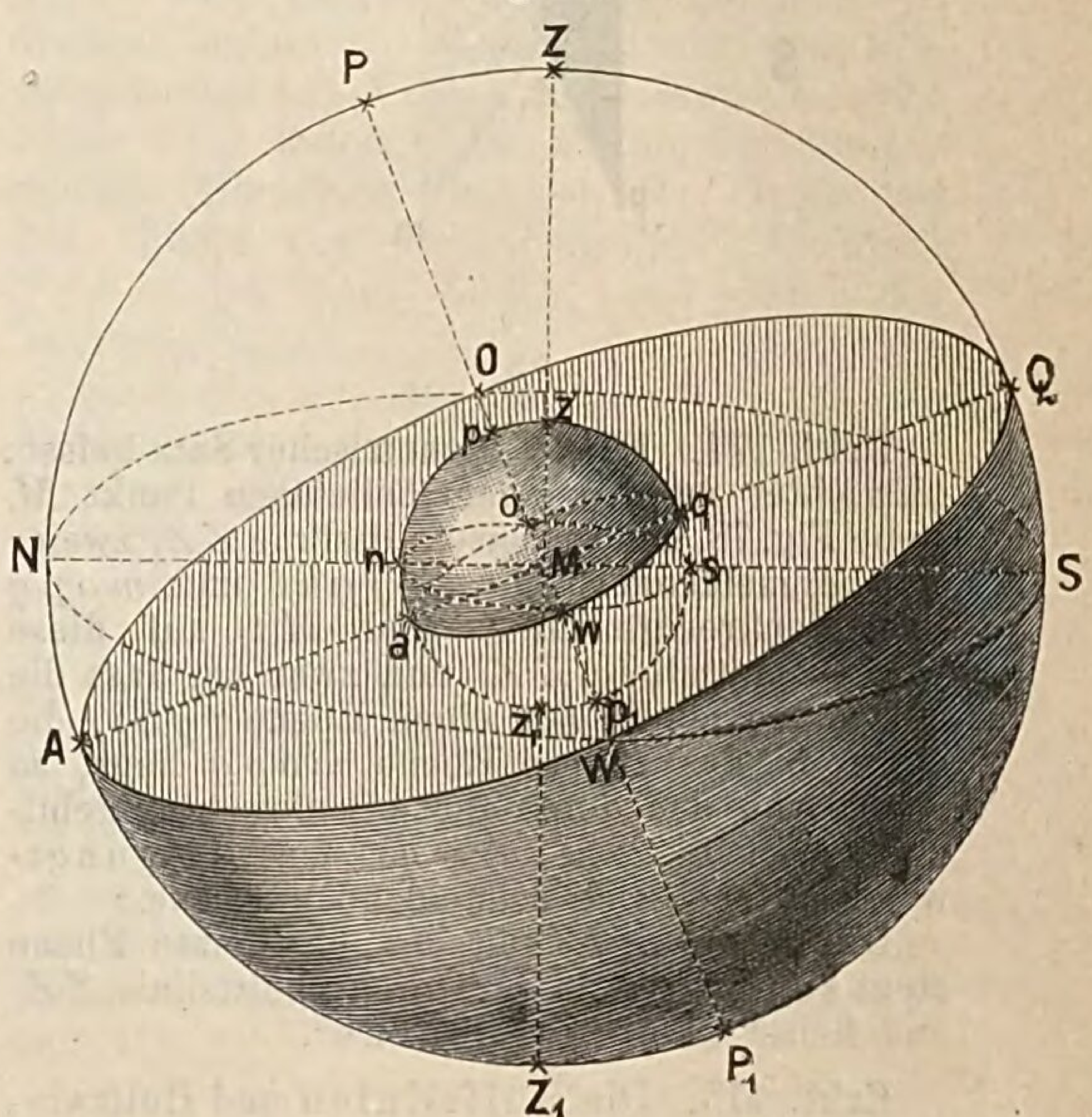
Man bestimmt zwei verschiedene Stellungen eines Circumpolarsterns, welche 180° (oder 12 Stunden Sternzeit) von einander entfernt sind.

(Ausführliches hierüber findet man in Kleyer's Lehrbuch der Astronomie.)

Figur 76.



Figur 77.



Erkl. 173. **Einige Benennungen aus der mathematischen Geographie.** — Die Bezeichnungen: Weltaxe, Pole derselben, Aequator, Meridian etc. an der Himmelskugel hat man auch auf die Erde übertragen.

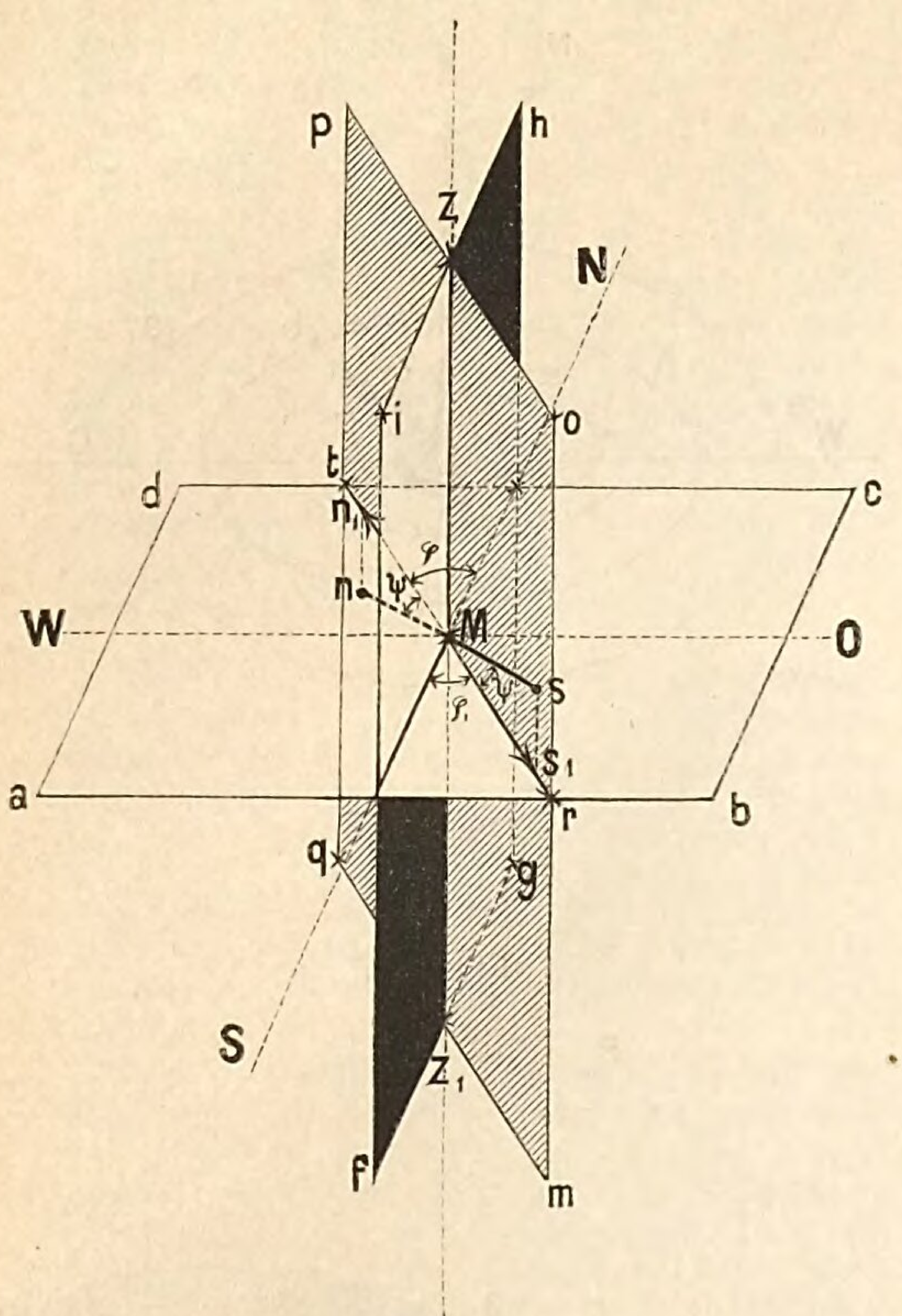
Den Teil der Weltaxe, welcher durch die Erdkugel geht, nennt man „Erdaxe“; deren Endpunkte „Nord- und Südpol der Erde“. Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Erde, da wir dieselbe, der Erscheinung nach, als eine mit der Himmelskugel konzentrische Kugel betrachten müssen, in einem grössten Kreis, welcher Erdäquator genannt wird. Aus demselben Grunde schneidet der Meridiankreis eines Orts die Erde in einem grössten Kreis, welcher Erdmeridian genannt wird. (Siehe Erkl. 170).

Erkl. 173a. Figur 77 stellt die von der Himmelskugel auf die Erdkugel übertragenen Linien dar. Man müsste sich allerdings in dieser Figur die Erdkugel im Verhältnis zur Himmelskugel viel kleiner oder letztere bedeutend grösser denken.

Frage 82. Auf welche Weise wird die bestimmte Richtung eines in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnets in bezug auf die Horizontal- und Meridianebene des Ortes festgelegt?

Antwort. Zur Festlegung der bestimmten Richtung, welche einem in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnet infolge der richtenden Kraft der Erde mitgeteilt wird, verfährt man, wie folgt:

Figur 78.



Ist, siehe Fig. 78, sn die magnetische Axe eines frei in seinem Schwerpunkt M aufgehängten Magnets, $abcd$ die durch den Schwerpunkt M des Magnets bezw. die durch den Beobachtungsort M gehende Horizontalebene (s. Erkl. 161) und $fghi$ ein Teil der Ebene des durch M gehenden astronomischen Meridians, so ist nach der Erkl. 169 diese Ebene senkrecht zur Ebene $abcd$ und schneidet dieselbe in der sogen. Mittagslinie SN, bezw. in der Süd-Nordrichtung des Ortes, die hierzu senkrechte Linie WO gibt die West-Ostrichtung des Ortes an. Will man nun die Lage der magnetischen Axe sn in bezug auf diese 2 Ebenen festlegen, so denke man sich durch dieselbe die zur Horizontalebene $abcd$ senkrechte Ebene $mopq$ gelegt, welche die Meridianebene $fghi$ des Ortes in der Vertikallinie ZZ_1, d. i. die Scheitellinie des Ortes (s. Erkl. 164), und die Horizontalebene $abcd$ in der Linie rt scheidet (s. Antw. der Frage 83).

Da nun die Horizontalebene $abcd$ senkrecht auf der Durchschnittslinie ZZ_1 der Ebenen $fghi$ und $mopq$ steht, so ist der Winkel NMt $(= \varphi)$ der Neigungswinkel (siehe Erkl. 174) dieser beiden Ebenen, durch dessen Grösse die Lage der durch die magnetische Axe sn gelegten Ebene $mopq$ in bezug auf die astronomische Meridianebene $fghi$, bezw. in bezug auf die Mittagslinie SN vollständig bestimmt ist. Es bleibt somit nur noch die Lage der magnetischen Axe sn in der Vertikalebene $mopq$ (der magnetischen Meridianebene, siehe Antwort der Frage 83) selbst festzulegen übrig, was auf einfache Weise mittels des Winkels tMn $(= rMs = \psi)$, d. i. der Winkel, welchen die magnetische Axe sn mit der Durchschnittslinie der zu einander senkrechten Ebenen $abcd$ und $mopq$, bezw. mit der horizontalen Linie rt bildet, geschieht. (Siehe die Erkl. 175.)

Erkl. 174. Ein stereometrischer Satz heisst: „Errichtet man in einem beliebigen Punkt M, siehe Fig. 78, der Durchschnittslinie ZZ_1 zweier sich schneidenden Ebenen $fghi$ und $mopq$ zwei Senkrechte MN und Mt auf diese Durchschnittslinie ZZ_1 und zwar so, dass die eine derselben in der einen Ebene $fghi$, die andre in der andern Ebene $mopq$ liegt, so nennt man den durch diese Senkrechten gebildeten Winkel NMt $(= \varphi)$ den Neigungswinkel jener sich schneidenden Ebene."

Die durch MN und Mt bestimmte Ebene steht senkrecht zu der Durchschnittslinie ZZ_1 und heisst „Neigungsebene".

Erkl. 175. Die Hülfslinien und Hülfswinkel, mittels welchen im Raume (und auch in einer Ebene) liegende geometrische Grössen (Punkte, Linien etc.) in bezug auf andre Ebenen (und auch auf Linien) festgelegt werden, nennt man im allgemeinen „Koordination" und zwar Linien- oder Winkelkoordination, je nachdem Hülfslinien oder Hülfswinkel zur Festlegung benutzt wurden.

Zur Festlegung der magnetischen Axe eines frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnets benutzt man, wie in nebenstehender Antwort gezeigt ist, sogenannte „Winkelkoordinaten". (Siehe Kleyer's Lehrbuch der analytischen Geometrie.)

Frage 83. Was versteht man unter dem magnetischen Meridian eines Ortes, was unter dem magnetischen Aequator eines Ortes?

Erkl. 176. Die Bezeichnungen: magnetischer Meridian eines Ortes, magnetischer Aequator eines Ortes, magnetische Axe, magnetische Pole etc. sind, wie aus den Erkl. 160—173 ersichtlich ist, den astronomischen und geographischen Benennungen entlehnt, mit diesen jedoch keineswegs zu verwechseln.

Antwort. Die durch die magnetische Axe (sn, siehe Figur 78) senkrecht zur Horizontalebene ($abcd$) des Ortes gelegte Ebene ($mopq$) schneidet die Erdkugel in einem grössten Kreis, welcher den Namen „magnetischer Meridian des Ortes“ führt. Eine zur magnetischen Axe (sn, siehe Figur 78) senkrecht und durch die Mitte (M) derselben gelegte Ebene schneidet die Erdkugel in einem grössten Kreis, welcher mit dem Namen „magnetischer Aequator des Ortes“ bezeichnet wird. (Siehe Erkl. 176.)

Frage 84. Durch welche zwei Winkel wird nach Antwort der Frage 82 die Lage eines frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnets bestimmt und welche besondere Namen und Bezeichnungen führen diese Winkel?

Erkl. 177. Wie sich aus der Figur 78 und aus nebenstehender Antwort ergibt, ist die magnetische Deklination eines Ortes der Winkel, welchen die magnetische Axe eines horizontal frei aufgehängten und in Ruhe befindlichen Magnets mit der Mittagslinie desselben Ortes, oder mit einer zu dieser parallelen Linie, bildet.

Erkl. 178. Wie sich aus der Figur 78 und aus nebenstehender Antwort ergibt, ist die magnetische Inklination eines Ortes der Winkel, welchen die magnetische Axe eines frei aufgehängten und in Ruhe befindlichen Magnets mit der durch seinen Schwerpunkt gezogenen Horizontallinie, oder mit einer zu dieser parallelen Linie, bildet.

Antwort. Nach Antwort der Frage 82 wird die Lage eines frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnets durch zwei Winkel bestimmt, nämlich durch den Neigungswinkel ($\measuredangle NMt = \measuredangle SMr = \varphi$, siehe Figur 78), welchen die Ebene des magnetischen Meridians ($mopq$) des Ortes mit der Ebene des astronomischen Meridians ($fghi$) des Ortes bildet, und durch den Neigungswinkel ($\measuredangle tMn = \measuredangle rMs = \psi$), welchen die magnetische Axe (sn) mit der Horizontalebene ($abcd$) des Ortes bildet. Der erste dieser Neigungswinkel ($\measuredangle NMt = \measuredangle SMr$) führt den Namen: die „magnetische Deklination“ oder „magnetische Abweichung“ oder „magnetische Missweisung des Ortes“ und wird gewöhnlich durch den griech. Buchstaben φ bezeichnet; der zweite dieser Neigungswinkel ($\measuredangle tMn = \measuredangle rMs$) führt den Namen: die „magnetische Inklination des Ortes“ und wird gewöhnlich durch den griech. Buchstaben ψ bezeichnet. (Siehe die Erkl. 177 und 178.)

3). Ueber die Deklinations-, Inklinations- und astatischen Nadeln.

a). Deklinationsnadel.

Frage 85. Was versteht man unter einer Deklinationsnadel?

Antwort. Eine Magnetnadel, welche so aufgehängt ist, dass ihre magnetische Inklination gleich Null wird (siehe

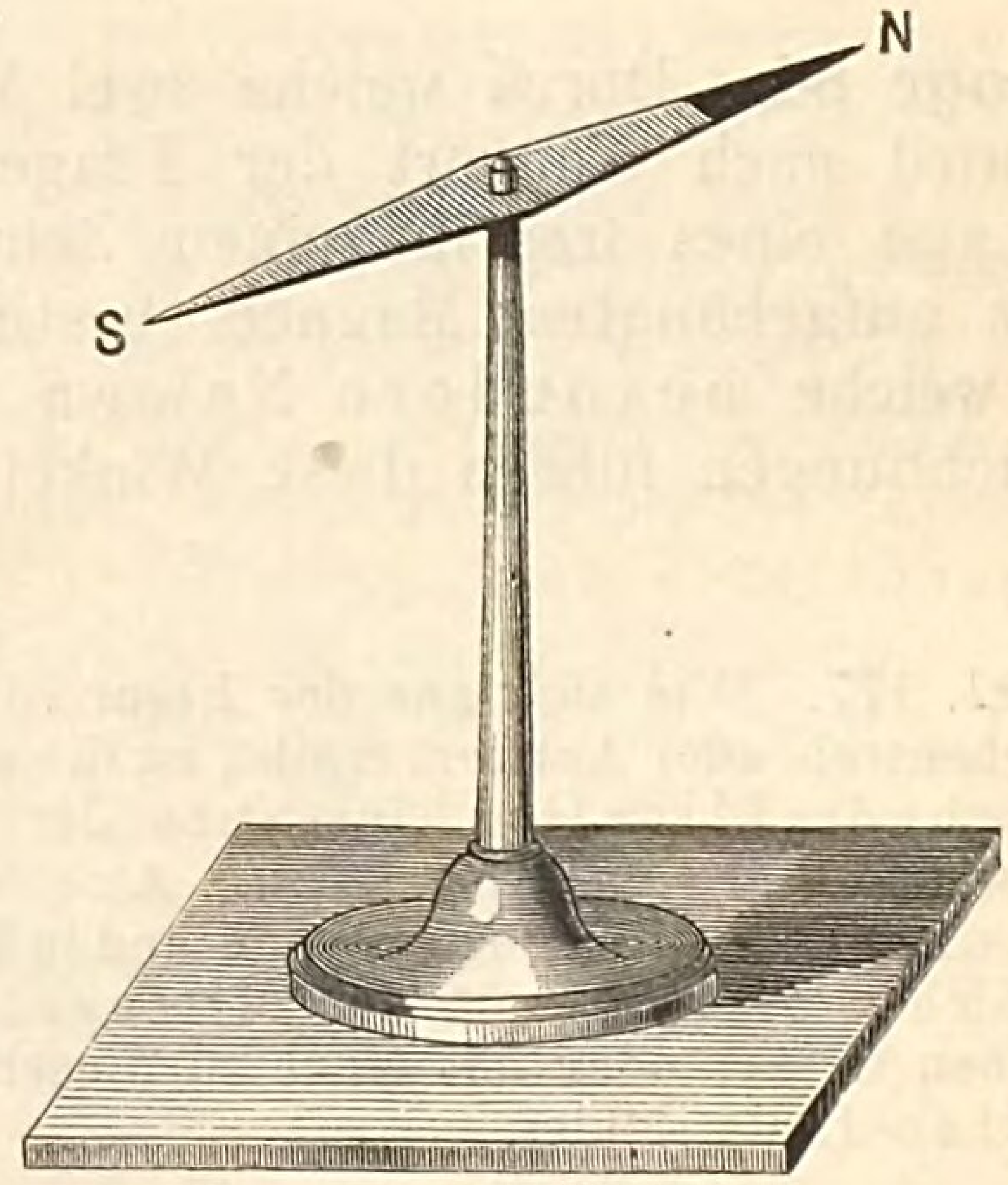
Erkl. 179. Da auf der nördlichen Hemisphäre der Südpol (*s*, siehe Figur 78) einer frei aufgehängten Magnetnadel (*s n*) über der durch den Schwerpunkt (*M*) der Nadel gelegt gedachten Horizontalebene (*a b c d*) zu liegen kommt, so stellt man eine „Deklinationsnadel" dadurch her, dass man entweder am untern Teil der den Nordpol (*n*) enthaltenden Hälfte (*M n*) so lange wegfeilt, bis die Richtung der Nadel in jene Horizontalebene (*a b c d*), bezw. in die Durchschnittslinie (*r t*) der Ebene des magnetischen Meridians des Ortes und der Horizontalebene des Ortes zu liegen kommt; oder dass man, wie die Seefahrer zu thun pflegen, den Südpol (*s*) z. B. durch Wachskügelchen so beschwert, bis die Nadel eine horizontale Lage (*r t*) annimmt, was besonders auf Reisen geschieht, da sich, wie später gezeigt wird, die Inklination stets ändert. In beiden Fällen wird die magnetische Inklination durch die Schwerkraft der Erde aufgehoben und gleich Null. (Siehe die Antwort der Frage 19, Seite 10, und die Erkl. 42, Seite 11.)

Erkl. 180. Die Deklinationsnadel findet mancherlei praktische Verwendung, unter anderem als Kompass, zur Bestimmung des geographischen Meridians (siehe Erkl. 172, Seite 62) und als Bussole zur Winkelbestimmung beim Feldmessen. Siehe hierüber den Abschnitt, welcher über die Verwendung der Deklinationsnadel als Kompass und Bussole handelt.

Erkl. 181. Bei der Deklinationsnadel ist ein Teil der Wirkung des Erdmagnetismus infolge der Art der Aufhängung, siehe Erkl. 179, aufgehoben, und es kommt bei ihr nur die horizontale Komponente $M n_1$ (siehe Figur 78) der die Nadel richtenden magnetischen Erdkraft zur Wirkung. Je grösser die Inklination ($t M n = \psi$, siehe Figur 78) ist, um so kleiner wird deren horizontale Komponente ($M n_1$), d. h. um so geringer ist die Kraft, welche die Deklinationsnadel richtet. (Siehe hierüber den Abschnitt, welcher über die Intensität des Erdmagnetismus handelt.)

Figur 79), dass also ihre magnetische Axe (*s n*, siehe Fig. 78) in die Horizontalebene (*a b c d*) des Ortes, bezw. mit der Durchschnittslinie (*r t*) des magnetischen Meridians des Ortes und jener Horizontalebene zusammenfällt, zeigt nur noch die magnetische Deklination des Ortes ($\measuredangle N M t = \varphi$, siehe Fig. 78) an und führt deshalb den besonderen Namen: „Deklinationsnadel". (Siehe die Erklärungen 178—181.)

Figur 79.



b). Inklinationsnadel.

Frage 86. Was versteht man unter einer Inklinationsnadel?

Erkl. 182. Die Herstellung einer guten „Inklinationsnadel" ist sehr schwer und erfordert die volle Aufmerksamkeit eines tüchtigen Mechanikers. — Dies ist auch der Grund, warum genaue Beobachtungen der magnetischen Inklination, überhaupt die allgemeine Kenntnis der Inklination viel später erfolgte als die der magnetischen Deklination (siehe Erkl. 180).

Bei der Herstellung einer Inklinationsnadel hat man sich vor dem Magnetisieren derselben

Antwort. Eine Magnetnadel, welche so aufgehängt ist, dass sie vollständig frei beweglich dem richtenden Einfluss des Erdmagnetismus folgen kann, welche also auch jede beliebige Lage in der vertikalen Ebene des magnetischen Meridians annehmen kann, wodurch sich an ihr die magnetische Inklination des Ortes erkennen lässt, nennt man eine „Inklinationsnadel". Umstehende

zu überzeugen, ob sie sich mit der genau durch ihren Schwerpunkt gehenden horizontalen Axe *ab*, siehe Figur 80, auch so dreht, dass sie in jeder Lage, die man ihr gibt, ohne jedes Schwanken verbleibt und dass sie, wenn man sie anstösst und sie nach mehrmaligen Umdrehungen zur Ruhe kommen will, nicht mehr zurückweicht, da dies ein Beweis ist, dass auch ihre Axe *ab* genau durch den Schwerpunkt der Nadel geht, was zu erreichen sehr schwer ist.

Erkl. 183. Die Deklinationsnadel ist viel älter als die Inklinationsnadel; während erstere auf die Erfindung der Magnetnadel, siehe Erklärung 44, Seite 11, zurückgeführt werden kann, fällt die Erfindung der Inklinationsnadel ins 16. Jahrhundert.

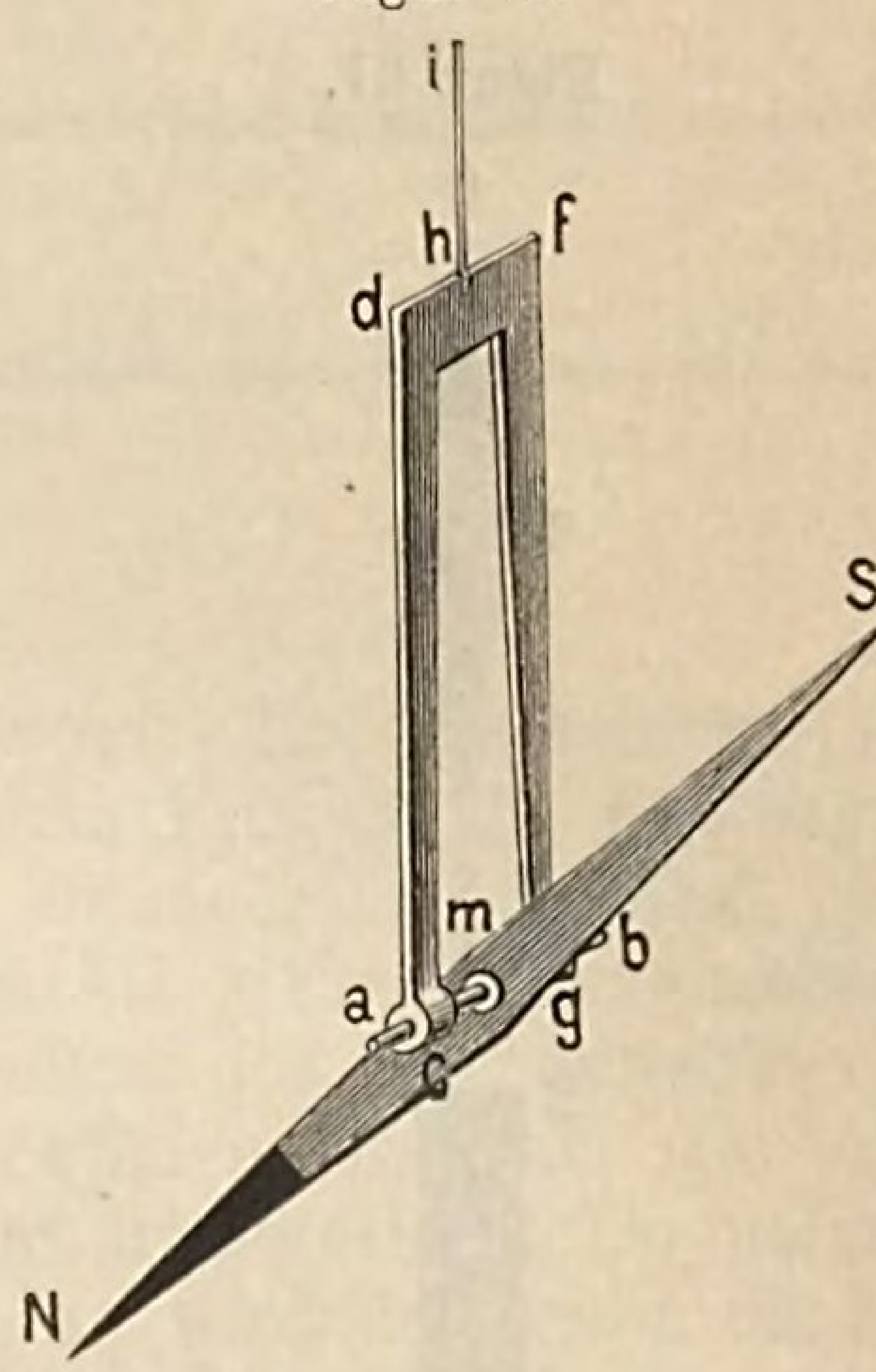
Ein englischer Seemann und Mechaniker, Namens *Robert Normann*, welcher die Neigung des Nordpols der Magnetnadel beobachtete, kam auf den Gedanken, ein Instrument zu konstruieren, welches der magnetischen Wirkung der Erde (dem Zuge nach unten) besser folgen konnte und so entstand im Jahre 1576 die erste Inklinationsnadel.

Im Jahre 1543, also 33 Jahre früher, hatte der Erfinder des Gesetzes der Polarität, *Georg Hartmann* zu Nürnberg (siehe Erkl. 49, S. 13), die Inklination der Magnetnadel bereits festgestellt.

Erkl. 184. Die Richtung der Inklinationsnadel fällt mit der Richtung der Resultierenden der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kraft der Erde zusammen (vergl. Antw. der Frage 80, Seite 57).

Figur 80 stellt eine Inklinationsnadel dar, wie sie bereits in der Erkl. 149, Seite 54, beschrieben wurde. (Siehe die Erkl. 182—184.)

Figur 80



c). Astatische Nadel.

Frage 87. Was versteht man unter einer astatischen Nadel?

Erkl. 185. Die Bezeichnung „astatische Nadel" kommt aus dem Griechischen und heisst Magnetnadel ohne Gleichgewichtslage.

Antwort. Eine Magnetnadel, welche so aufgehängt ist, dass sie selbst frei beweglich und stark magnetisch ist, aber durch die Art der Aufhängung dem Einfluss des Erdmagnetismus entzogen wird, nennt man eine „astatische Nadel" (siehe Erkl. 185).

Frage 88. Auf welche einfache Art kann man eine astatische Nadel herstellen?

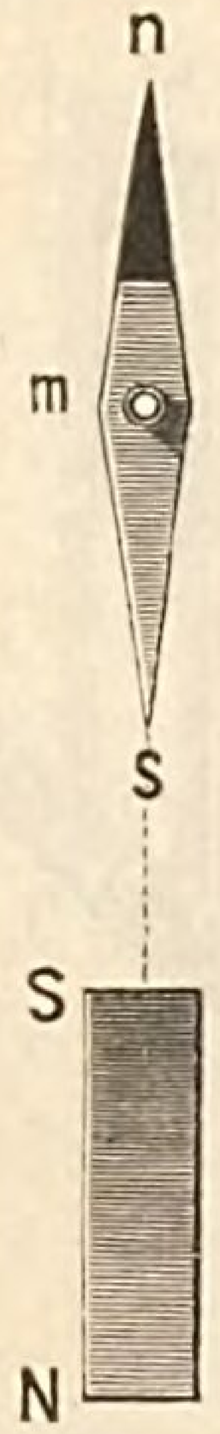
Erkl. 186. Mittels dem in nebenstehender Antwort gegebenen und durch Figur 81 dargestellten Verfahren kann man sich eine vollkommen astatische Nadel herstellen (siehe Erkl. 189 und 190).

Erkl. 187. Jede einfache Magnetnadel, welche in einer der Richtung der Inklinationsnadel

Antwort. Ist *sn*, siehe Figur 81, eine gewöhnliche Magnetnadel, die in ihrem Schwerpunkt *m* aufgehängt ist, und man legt in den magnetischen Meridian derselben, dessen Lage ziemlich genau durch die Linie *ns* bestimmt ist, sobald sich die Magnetnadel in Ruhe befindet, einen kräftigen Magnetstab *NS* so, dass die gleichnamigen Pole beider

senkrechten Ebene (also im sogenannten magnetischen Aequator, siehe Antw. der Frage 83, Seite 65) schwingt, ist ebenfalls eine vollkommen astatische Nadel. Dreht man daher die durch Figur 80 dargestellte, in Ruhe befindliche Inklinationsnadel in ihrer vertikalen Ebene um 90°, so wird die Magnetnadel astatisch.

Figur 81.



Magnete gegeneinander zugekehrt sind, so wird dieser Magnet NS dem Erdmagnetismus entgegenwirken, indem der Erdmagnetismus bestrebt ist, der Magnetnadel eine solche Richtung zu geben, dass der Nordpol derselben nach n, der Südpol nach s zu liegen kommt, während der Magnet SN, infolge des Gesetzes der Polarität, bestrebt ist, die Nadel umzukehren und den Nordpol nach s, den Südpol nach n zu bringen sucht. Da nun die Wirkung des Magnets NS auf die Magnetnadel von der Entfernung beider abhängig ist, so kann man durch Nähern oder Entfernen des Magnets NS demselben eine solche Lage geben, dass er gerade die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Magnetnadel neutralisiert, aufhebt, bezw. dass er dem Erdmagnetismus das Gleichgewicht hält und die Magnetnadel ns in eine zu ihrer ursprünglichen Lage rechtwinklige Lage bringt; in diesem Falle ist die Magnetnadel ns eine astatische Nadel. (Siehe die Erkl. 186 und 187.)

Frage 89. Was versteht man unter einem astatischen Nadelpaar?

Antwort. Verbindet man zwei gleiche und gleich stark magnetisierte Magnetnadeln durch ein Metall- oder Elfenbeinstäbchen (siehe die Figur 82 und die Erkl. 188) so, dass die ungleichnamigen Pole jener Magnetnadeln übereinander zu liegen kommen und die magnetischen Axen derselben eine parallele Lage haben (also auch in eine Ebene zu liegen kommen), und hängt diese Verbindung an einem ungedrehten Seidenfaden in ihrem Schwerpunkte auf, so zeigt sich, wie *Nobili* dargethan hat, diese Kombination zweier Magnetnadeln gegen die Wirkung des Erdmagnetismus unempfindlich (siehe Erkl. 189) und man hat ein „astatisches Nadelpaar“, ein „astatisches System“ oder eine sogenannte „astatische Doppelnadel“ (siehe Erkl. 190).

Erkl. 188. Eine der vorteilhaftesten Verbindungen zweier Magnetnadeln zu einem astatischen Nadelpaar ist die durch Figur 82 dargestellte.

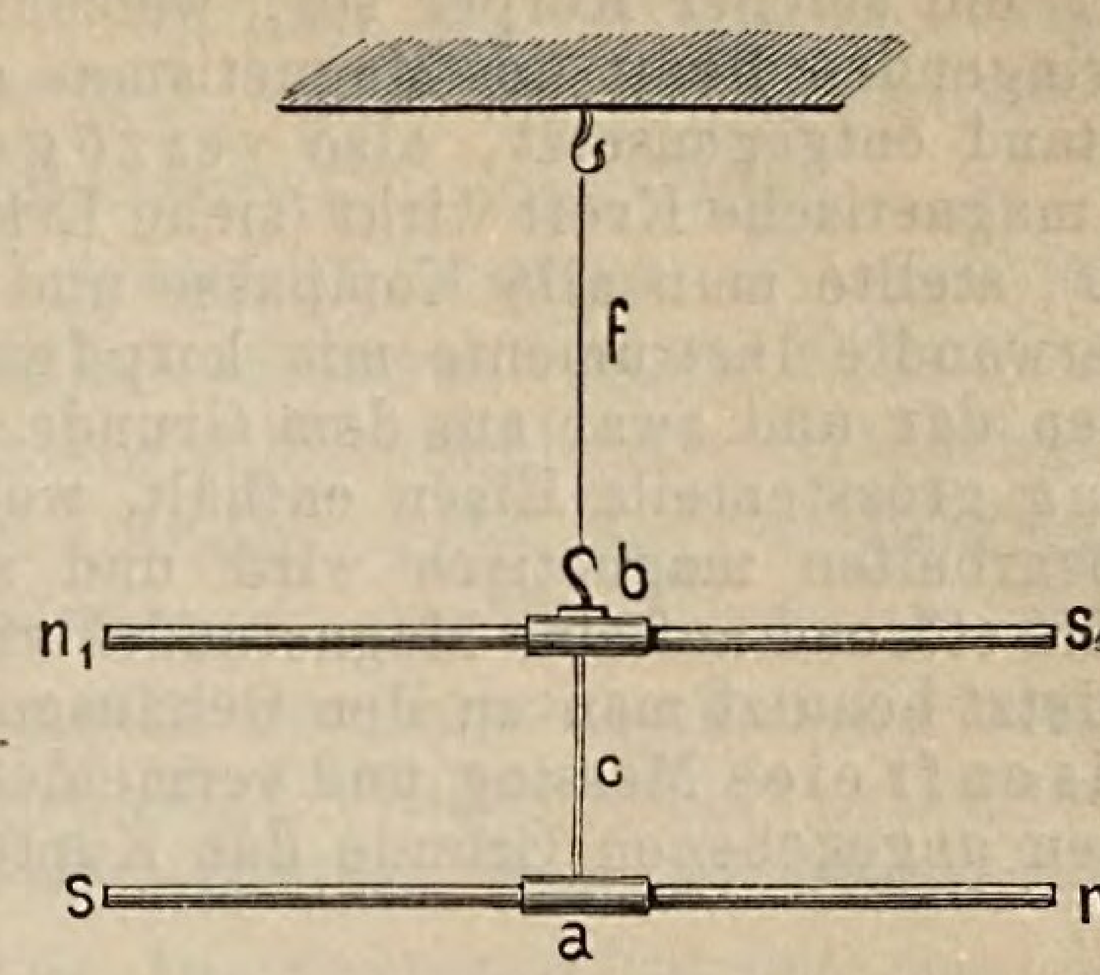
In den beiden gleich starken Hülsen a und b, welche aus dünnem Silberdraht hergestellt und mittels des aus demselben Material bestehenden Stäbchens c verbunden werden, sind die Magnetnadeln $n_1 s_1$ und sn eingeschoben. Die ganze Vorrichtung wird an dem ungedrehten Seidenfaden f aufgehängt. (Siehe Erkl. 189 und 190.)

Erkl. 189. Ein astatisches Nadelpaar wird niemals vollkommen astatisch werden, wie es bei einer Magnetnadel, siehe Figur 81 und Erkl. 186, der Fall sein kann, da es sehr schwer ist, die zwei Magnetnadeln gleich und gleich stark magnetisch zu machen, und ihnen eine solche Lage zu geben, dass ihre magnetischen Axen (welche sich nicht genau bestimmen lassen) eine parallele Lage zu einander haben, und anderes mehr.

Erkl. 190. Nach der Erkl. 189 kann ein astatisches Nadelpaar nicht vollkommen asta-

tisch gemacht werden, d. h. die richtende Kraft des Erdmagnetismus kann nicht ganz aufgehoben werden, sie ist stets noch gleich der Differenz der Kräfte, mit welchen der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten bestrebt ist.

Figur 82.



Frage 90. Welche Anwendung finden die astatischen Doppelnadeln?

Erkl. 191. Eine astatische Doppelnadel, siehe Figur 82, ist besonders auf Reisen zu empfehlen.

Erkl. 192. Unter anderem bedient man sich der astatischen Doppelnadel bei den Galvanometern und Multiplikatoren, um schwache galvanische Ströme nachzuweisen. (Siehe Kleyers Lehrbuch des Galvanismus.)

Antwort. Da eine astatische Doppelnadel dem Einfluss des Erdmagnetismus nahezu entzogen ist, da also jede andre auf dieselbe wirkende magnetische Kraft den Einfluss des Erdmagnetismus nicht zu überwinden braucht, um eine Wirkung auf die astatische Doppelnadel auszuüben, so wird sich schon die kleinste magnetische Kraft auf eine astatische Doppelnadel geltend machen und ihre Wirkung äussern können. Man benutzt deshalb astatische Doppelnadeln, um das Vorhandensein sehr schwacher magnetischer Kräfte nachzuweisen. (Siehe die Erkl. 191 und 192.)

4). Ueber die Verwendung der Deklinationsnadel zum Kompass und zur Bussole.

a). Ueber den Kompass im allgemeinen.

Frage 91. Was versteht man im allgemeinen unter einem Kompass?

Erkl. 193. Je nach den Zwecken, welchen ein Kompass dienen soll, enthält derselbe eine Windrose (siehe die Beschreibung des Seekompasses in Antw. der Frage 94) oder einen in Grade eingeteilten Kreis (siehe die Beschreibung der Bussole in Antw. der Frage 95).

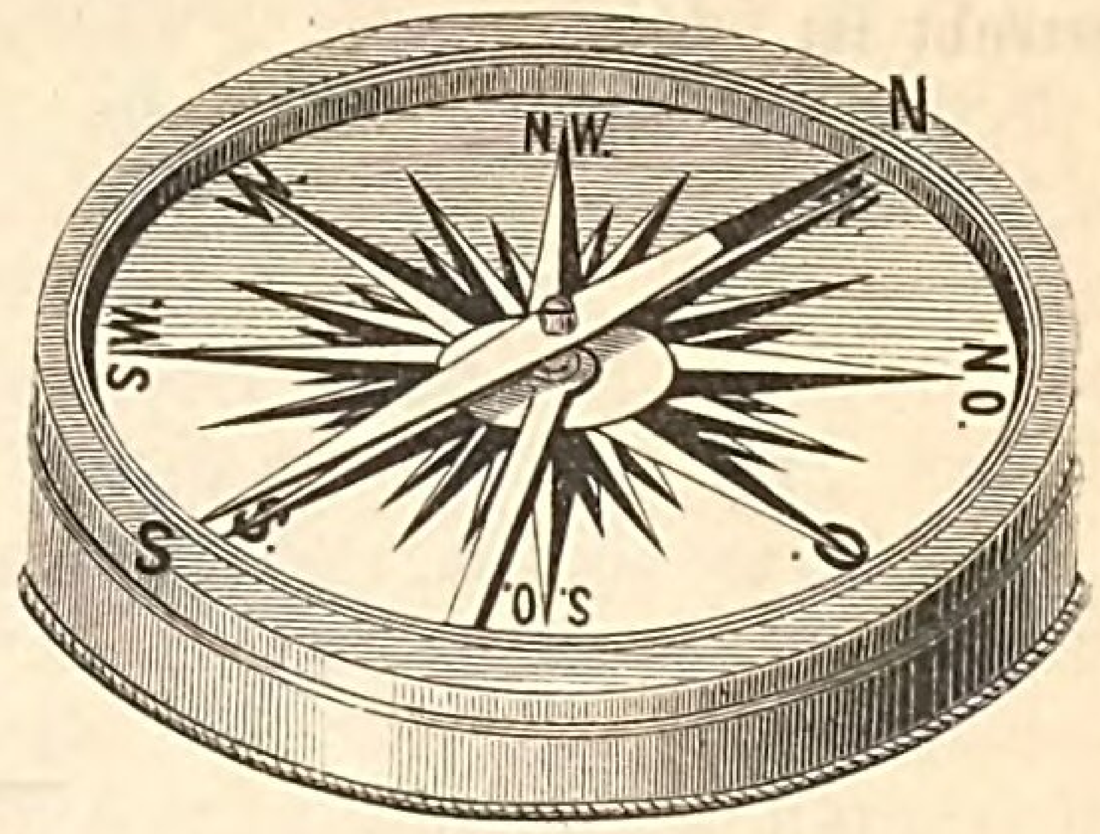
Erkl. 194. Der durch die Figur 83 dargestellte und in nebenstehender Antwort näher beschriebene Kompass ist ein gewöhnlicher Taschenkompass, wie er allgemein bekannt ist.

Antwort. Ein Apparat, siehe Fig. 83, welcher aus einer horizontal schwingenden Magnetnadel, also aus einer sogenannten Deklinationsnadel (siehe Antwort der Frage 85, Seite 63) und aus einem messingenen Gehäuse besteht, an dessen Boden eine Windrose (siehe Erkl. 172, Seite 62) oder ein in Grade eingeteilter Kreis (siehe Erkl. 193) befestigt ist, über welcher, bezw. über welchem, die Deklinationsnadel schwebt, und welches ähnlich wie eine Taschenuhr mit einem

Erkl. 195. Ehe man erkannt hatte, dass Kupfer ein solcher Körper sei, welcher der durchdringenden Kraft des Magnetismus einen Widerstand entgegensetzt, also verzögernd auf die magnetische Kraft wirkt (siehe Erkl. 66, Seite 19), stellte man alle Kompasse und sonstige verwandte Instrumente mit kupfernen Gehäusen dar und zwar aus dem Grunde, weil Messing grösstenteils Eisen enthält, welches beim Bearbeiten magnetisch wird und somit besonders störend auf eine Magnetnadel wirken kann. Jetzt benutzt man zu den Gehäusen nur noch eisenfreies Messing und vermeidet aus dem oben angegebenen Grunde das Kupfer.

Glasdeckel verschlossen ist, nennt man im allgemeinen einen „Kompass".

Figur 83.



Frage 92. Welchen Zwecken dient insbesondere der Kompass?

Antwort. Der Kompass dient zu mancherlei Zwecken, insbesondere dient er:

a). zur Bestimmung der Mittagslinie und der Weltgegenden, also zur Orientierung, wobei die magnetische Deklination des Ortes als bekannt vorausgesetzt werden muss (siehe hierüber das, was in den folgenden Abschnitten über den Seekompass, die Orientierungsbussole und den Hängekompass gesagt ist);

b). zur Bestimmung des Azimuts, bezw. zur Bestimmung der Abweichung einer beliebigen Richtung vom magnetischen Nordpol, oder zur Messung von Winkeln beim Feldmessen bei bekannter magnetischer Deklination des Ortes (siehe den Abschnitt „Die Bussole"); und

c). zur Bestimmung des magnetischen Meridians eines Ortes, bezw. zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes (siehe hierüber den Abschnitt: Ueber die Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes).

Frage 93. Welche besonderen Namen führen die Instrumente, bei welchen der Kompass die in vorstehender Antwort angegebene Verwendung findet?

Erkl. 196. Vorrichtungen zu Orientierungen in bezug auf die Himmelsgegenden auf dem Lande nannte man früher „magnetische Wagen"; dieselben finden sich schon im 13. Jahrh. n. Chr. bei den Franzosen vor. Die Chinesen (und Japanesen) sind unzweifelhaft die ersten, welche sich solcher Orientiervorrichtungen bedienten. (Siehe die Erkl. 44, Seite 11.)

Antwort. Die Instrumente, welche, wie unter a). in vorstehender Antwort angegeben ist, zur Bestimmung der Mittagslinie und der Weltgegenden, also zur Orientierung dienen, führen den allgemeinen Namen: „Kompasse" (siehe Erkl. 196). Werden dieselben zur Orientierung auf der See angewandt, dienen sie also nautischen Zwecken, so heissen

Erkl. 197. Die den nautischen Zwecken dienenden sogenannten Seekompasse zerfallen in verschiedene Arten.

Man unterscheidet grössere „Schiffskompasse“ und kleinere „Bootskompasse.“ Die Schiffskompasse benennt man wieder, je nach der Konstruktion und je nach den besonderen Zwecken, welchen sie dienen sollen, mit den Namen: „gewöhnliche oder Steuerkompasse“, „Normal- und Fluidkompasse“.

Bei den Bootskompassen unterscheidet man nur „gewöhnliche und Fluidbootskompasse“. Die gewöhnlichen und Fluidkompasse dienen „zum Steuern“ des Schiffes, heissen deshalb auch „Steuerkompasse“.

Die „Azimutkompasse“ dienen (analog wie die Orientierungsbussolen beim Feldmessen, siehe dieselben und Erkl. 209) zum Bestimmen der Richtungen der für die Schiffahrt wichtigen Objekte, heissen deshalb auch „Peil- oder Regelkompasse“ (siehe Erkl. 198). Die „Normalkompasse“ dienen zur Regulierung der übrigen Kompasse und zu genauen Arbeiten auf dem Lande.

Im übrigen unterscheiden sich diese verschiedenen Kompasse nur in der Art der Aufhängung (siehe Antw. der Frage 94) und einigen den verschiedenen Zwecken entsprechenden besonderen Vorrichtungen.

Die Fluidkompasse sind solche, bei welchen das Gehäuse (siehe Antw. der nächsten Frage) mit Glycerin und Wasser gefüllt ist, um die Windrose besser vor Erschütterungen zu bewahren.

Ferner unterscheidet man noch die bei eisernen Schiffen zur Verwendung kommenden „Deviationskompasse“, das sind solche Kompasse, welche besondere Vorrichtungen haben, um die infolge des vielen in der Nähe befindlichen Eisens stattfindende Ableitung (Deviation) der Magnetnadel von dem magnetischen Meridian zu bestimmen.

Erkl. 198. Die Bezeichnung „Peil- oder Regelkompass“ kommt von dem im Seewesen gebräuchlichen Wort „Peilen“, was „ausmessen“ oder auch „beobachten“ heisst.

Erkl. 199. Die „Gruben- oder Markscheidekompasse“ dienen beim Bergbau zur Bestimmung der Weltgegenden in den Gruben, bezw. zur Messung der horizontalen Winkel, welche bestimmte Richtungen mit der Richtung der Deklinationsnadel machen. Zu ersteren Zwecken verwendet man meistens die „gewöhnlichen Taschenkompasse“ (siehe Figur 83), zu letzteren Zwecken die sogenannten „Hängekompasse“ (siehe Antwort der Frage 102).

Erkl. 200. Die sogen. „Deklinationsbussolen“, zu welchen auch das Magnetometer [siehe den Abschnit 5).] gehört, finden gewöhnlich im umgekehrten Sinne, nämlich vorzugsweise als Bussolen Verwendung, indem die magnetischen Deklinationen für alle Orte bestimmt sind und von besonderen magsie „Seekompasse“ (siehe Erkl. 197 u. 198); werden sie zur Orientierung beim Bergbau, bei der sogenannten „Markscheidekunst“ angewandt, so heissen sie „Grubenkompasse“ oder „Markscheidekompasse“ (siehe Erkl. 199); werden sie schliesslich zur Orientierung auf dem Lande, bezw. zur Orientierung beim Feldmessen zu Messtischaufnahmen angewandt, so heissen sie „Feldmesserkompasse“ oder auch „Bussolen“ [siehe hierüber den Abschnitt c).].

Die Instrumente ferner, welche, wie unter b). in vorstehender Antwort angegeben ist, zur Bestimmung der Abweichung einer beliebigen Richtung vom magnetischen Nordpol, bezw. zur Messung von Winkeln (auch Azimute) beim Feldmessen dienen, führen den allgemeinen Namen „Bussolen“.

Die Instrumente schliesslich, welche, wie unter c). in vorstehender Antwort angegeben ist, zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes dienen, führen den allgemeinen Namen „Deklinationsbussolen“ oder „Deklinatorien“ (siehe Erkl. 200).

Erkl. 199a. Die „Markscheidekunst“ ist die angewandte Geometrie auf den Bergbau. Sie ist die Kunst, Grubenbaue auszumessen, zu kartieren, Projektionen von den mutmasslichen Lagerstätten anzufertigen, die Richtungen anzugeben, in welchen sich zwei Grubenbaue treffen müssen und anderes mehr.

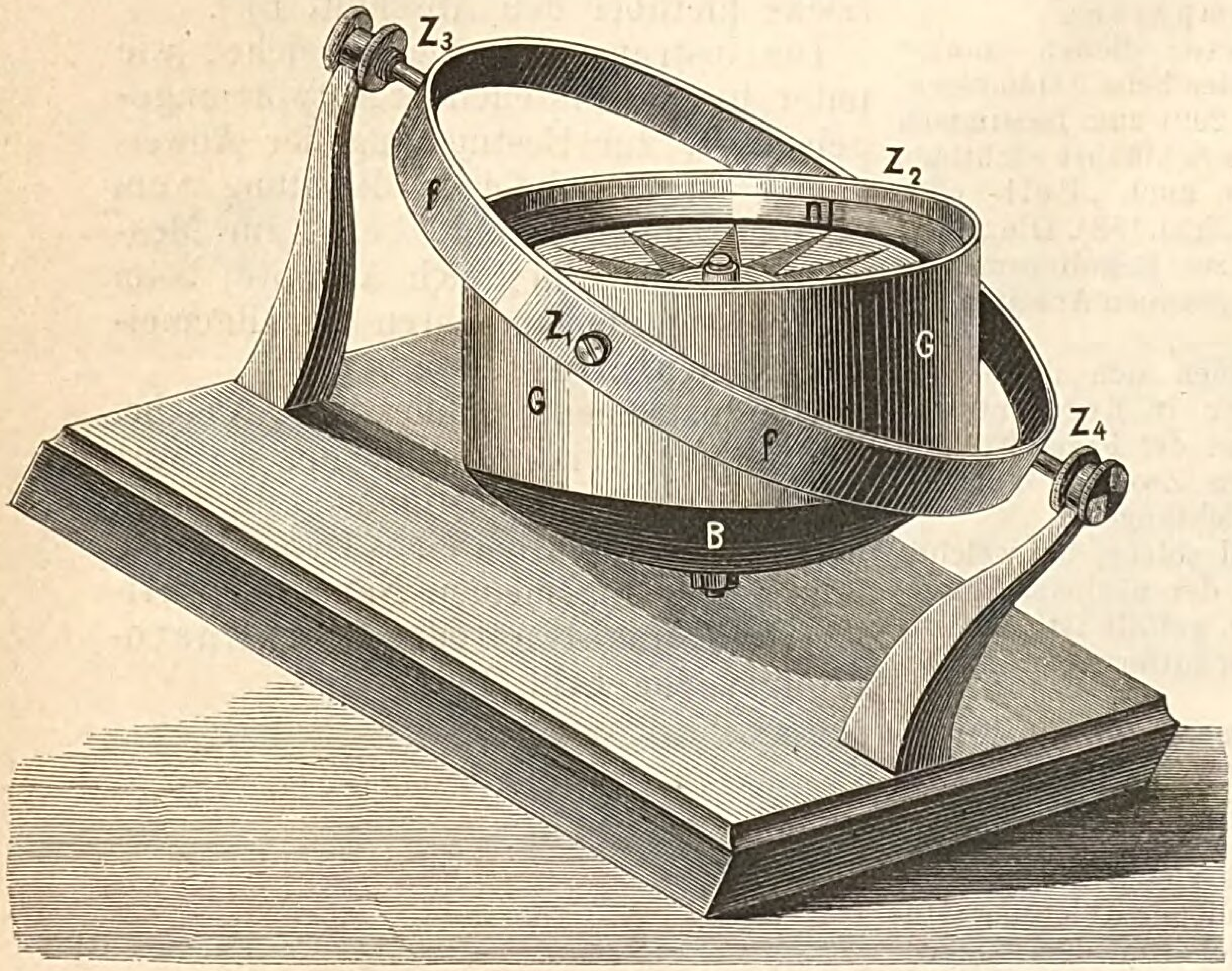
Ausführliches findet man in Kleyers Lehrbuch: „Die Markscheidekunst“.

netischen Vereinen stets rektifiziert werden. (Siehe den Abschnitt „Ueber die Bestimmung der magnetischen Deklination“.)

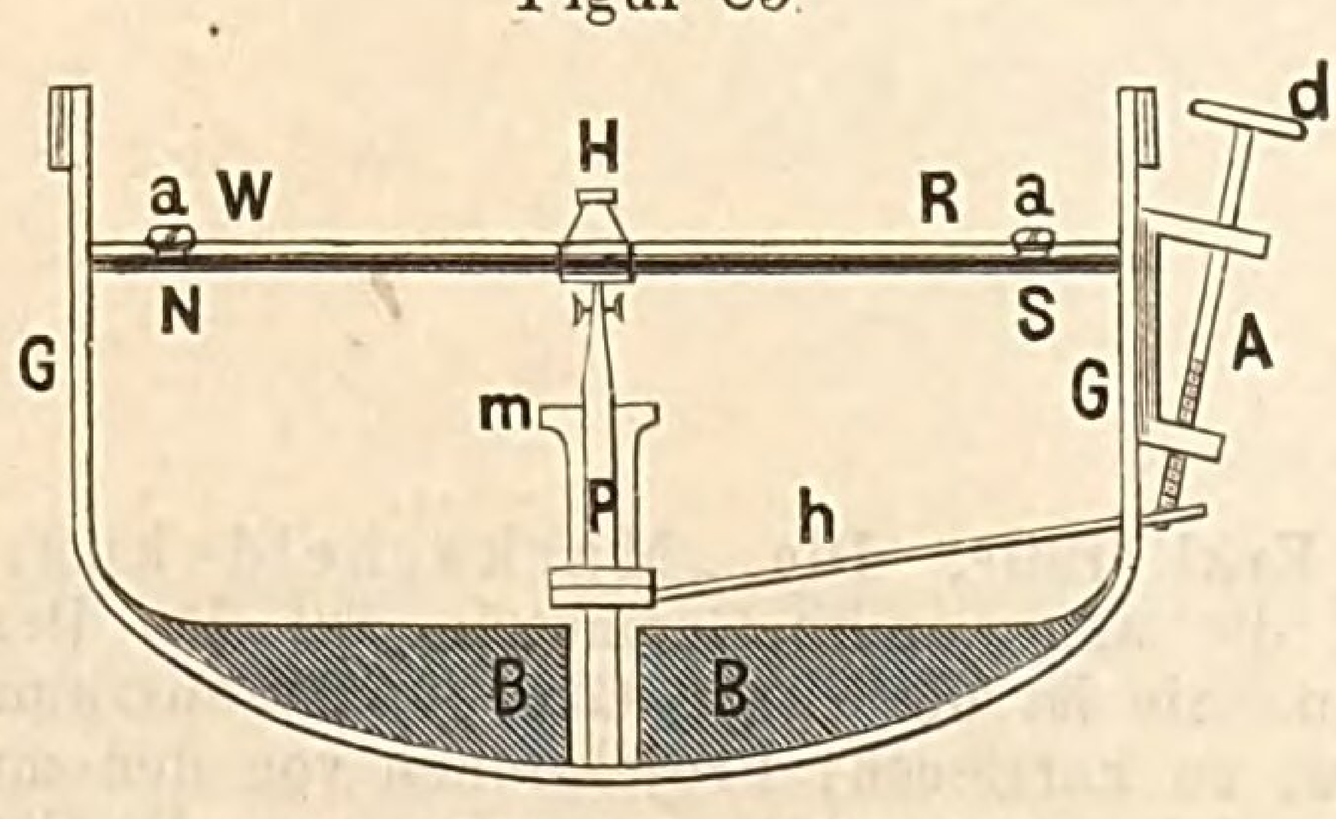
b). Der Seekompass.

Frage 94. Worin besteht im allgemeinen die Einrichtung der Seekompasse?

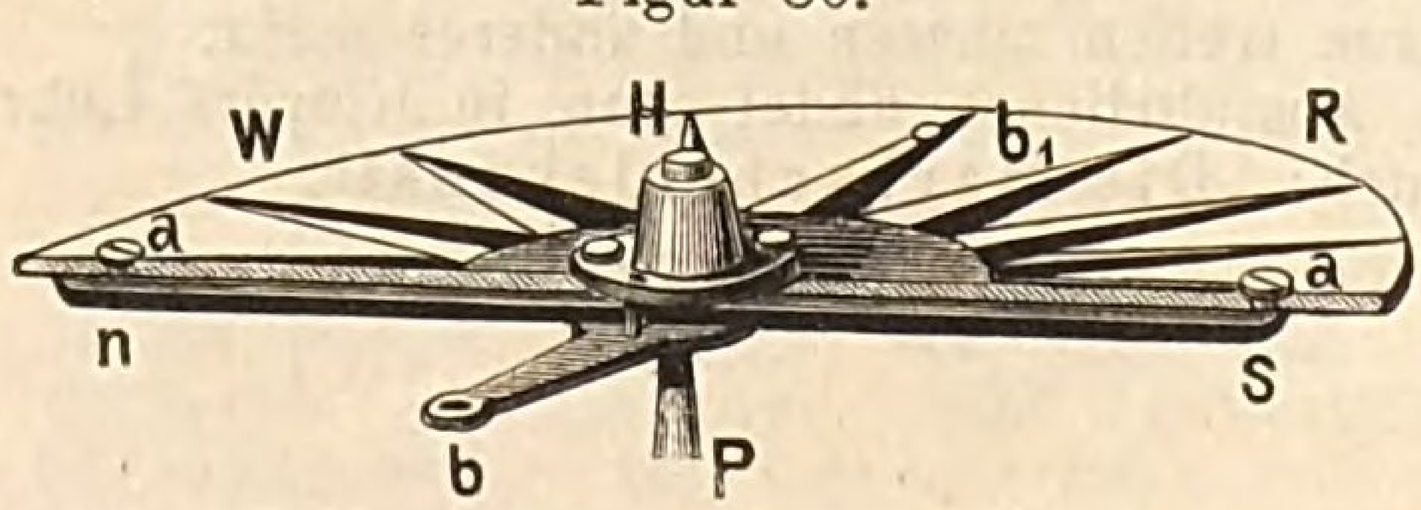
Figur 84.



Figur 85.



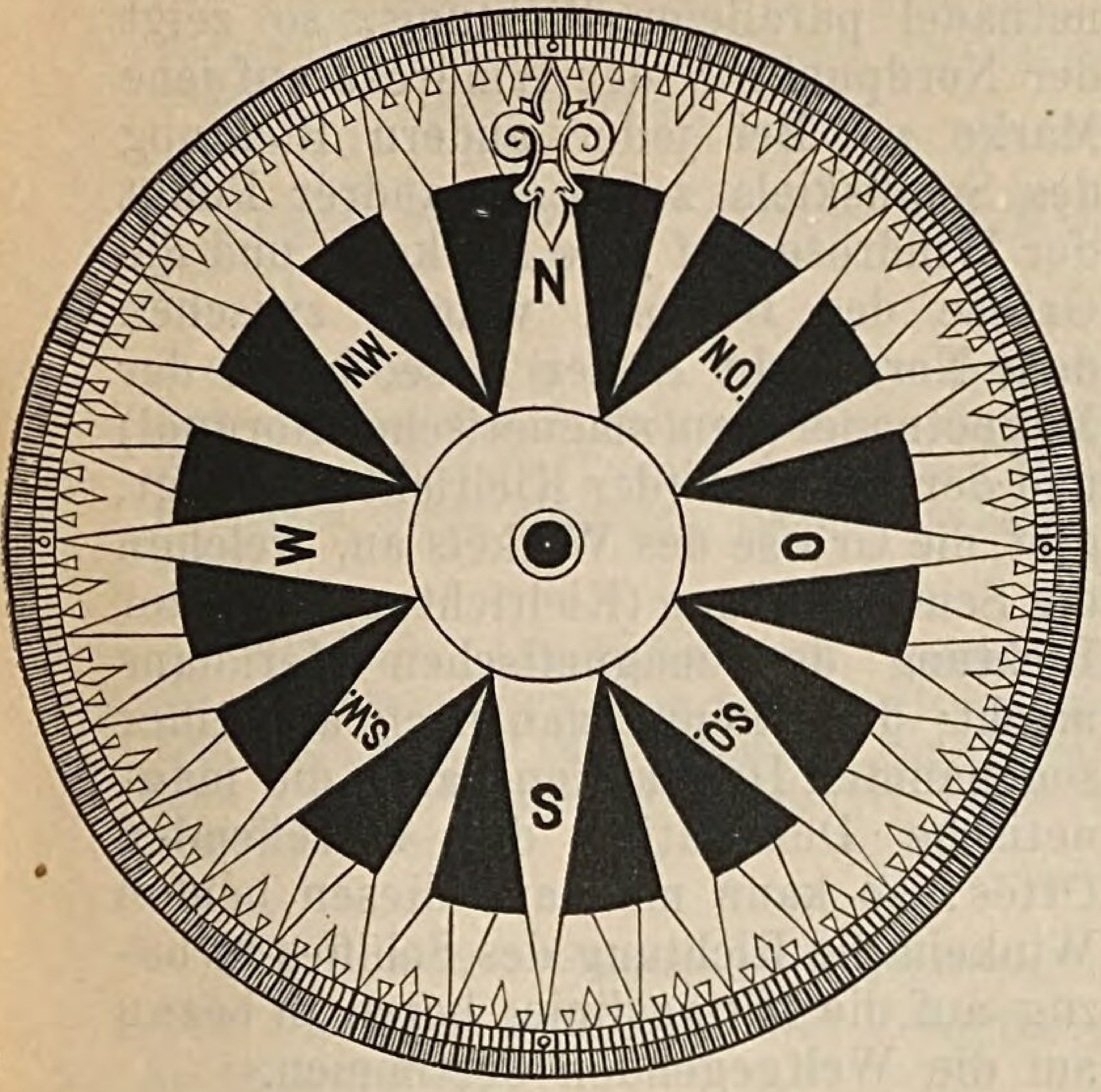
Figur 86.



Antwort. Die Einrichtung eines Seekompasses (s. Erkl. 201), welcher durch die Figur 84 in der Ansicht und durch die Fig. 85 im Durchschnitt dargestellt ist, ist im wesentlichen die folgende:

Das Gehäuse *GG* hat die Form eines Cylinders, eines Kugelabschnitts oder, wie in den Figuren 84 und 85, die Form eines Kessels (siehe Erkl. 202), besteht aus Messing oder Kupfer (siehe Erkl. 195) und wird oben durch einen Glasdeckel verschlossen. Der Boden des Gehäuses ist aus dickem Messing oder er ist mittels eingegossenem Blei *BB*, siehe Figur 85, beschwert; genau im Zentrum des Bodens ist die Stahl- oder Messingspitze (-Pinne) *P* angebracht, auf welcher die Magnetnadel, bezw. der Magnetstab *NS* mittels eines Achat- oder Karneolhütchens *H* ruht (siehe Erkl. 203). Auf dem Magnetstab *ns* ist, wie die Fig. 86 im Durchschnitt zeigt, die Rose (Windrose, siehe Erkl. 204 u. 205) *WR* mittels der Messingschräubchen *aa* befestigt; zur besseren Befestigung der Windrose ist noch ein Messingstab $b\,b_1$ (von welchem man in der Figur 86 nur den vorderen Teil *b* sieht) rechtwinklig zur Magnetnadel *ns* angebracht, oder die Windrose ist, ähnlich wie in Figur 88, auf einem Messingreif befestigt, welcher auf der Pinne *P* ruht. Die Scheibe, welche die Windrose enthält, wird ge-

Figur 87.



Erkl. 201. Der Gebrauch der Kompasse zur Orientierung auf der See war schon vor dem Jahre 1200 n. Chr. bekannt. Nach manchen Angaben soll der Seekompass eine Erfindung des Italieners *Flavio Gioja* sein, was jedoch höchst unwahrscheinlich ist. *Gioja*, ein berühmter Seefahrer, benützte im Anfang des 14. Jahrhunderts den Kompass (damals in seiner primitivsten Gestalt: ein Magnetstäbchen auf einem Korke im Wasser schwimmend) auf seinen Fahrten und hatte dieses Instrument jedenfalls von den Arabern aus dem arabischen Meer mitgebracht. Die Araber selbst hatten es wahrscheinlich von den Malayen und diese von den Chinesen und Japanesen, mit welchen sie im Verkehr standen. Die Chinesen selbst benutzten die Magnetnadel schon lange zur Orientierung auf dem Lande (siehe Erkl. 44, Seite 11), aber viel später zur See.

Die Chinesen verfertigten ihre Kompasse, indem sie ein Magnetstäbchen in einen hohlen Körper, besonders in die Körper toter und ausgetrockneter Tiere, wie Fische, Eidechsen, Frösche etc. steckten und auf Wasser schwimmen liessen.

Erkl. 202. Bei den grossen Schiffskompassen hat das Gehäuse einen Durchmesser von 20 cm und eine Höhe von 14 cm; bei den kleineren Bootskompassen ist der Durchmesser 12 cm und die Höhe 7 cm.

Erkl. 203. Grosse und sehr gute Kompasse haben nicht eine Magnetnadel, sondern sie enthalten ein System von zwei oder vier parallelen Magnetstäben (Lamellen), welche mittels Messingschrauben an einem Messingreif, der in einem Durchmesser auf der Pinne *P* ruht,

wöhnlich aus starkem Papier oder bei besseren Kompassen aus sogenanntem Marienglas, auf welchem die Windrose aufgeklebt ist, hergestellt. Die Magnetnadel und die daran befestigte Windrose kann mittels der Arretiervorrichtung *A*, siehe Figur 85, von der Pinne *P* langsam abgehoben und an den Glasdeckel angedrückt werden, was beim Nichtgebrauch und Transport des Kompasses von Vorteil ist. Diese Arretiervorrichtung besteht aus einem Schräubchen *d*, das auf einen Hebel *h* drückt, mittels welchem die Hülse *m* und die Magnetnadel *ns* in die Höhe geschoben und von der Pinne *P* abgehoben werden kann.

Damit nun die Magnetnadel, bezw. die daran befestigte Windrose, deren Ebene den Horizont des Beobachters angibt, durch die Schwankungen und Stösse des Schiffes so wenig wie möglich alteriert wird und stets auch eine horizontale Lage beibehält, ist, wie schon erwähnt, der Boden des Gehäuses *GG* mit Blei ausgegossen und ist ausserdem das Gehäuse, wie die Figur 84 zeigt, mit einer sogenannten „Cardanischen Aufhängung“ (der Name kommt von dem Erfinder *Cardanus*) versehen, d. h. das Gehäuse ist um zwei rechtwinklig zu einander stehenden in Zapfenlagern ruhenden Axen drehbar. Das Gehäuse *GG* bewegt sich nämlich einmal, wie die Figur 84 zeigt, in den diametral gegenüberstehenden Zapfen z_1 und z_2, welche in dem Messingring *ff* befestigt sind, und dieser Messingring bewegt sich wiederum in den diametral gegenüberstehenden Zapfen Z_3 und Z_4, deren Verbindungslinie senkrecht zur Verbindungslinie der Zapfen Z_1 und Z_2 ist. Die Zapfen Z_3 und Z_4 ruhen entweder in 2 messingenen Säulchen oder in einem zweiten messingenen Ring. Diese Messingsäulchen, bezw. dieser zweite Messingring ist nun so auf dem Schiffe angebracht, dass die Axenlinie $Z_1 Z_2$, welche an der innern Wandung des Gehäuses durch die Marke *n* bezeichnet ist, mit der Richtung des Schiffskiels parallel ist. Befindet sich der Kiel des Schiffes im magnetischen Meridian, bezw.

befestigt sind, siehe Figur 88, und deren Gesamtwirkung der Wirkung einer kräftigen Magnetnadel gleichkommt.

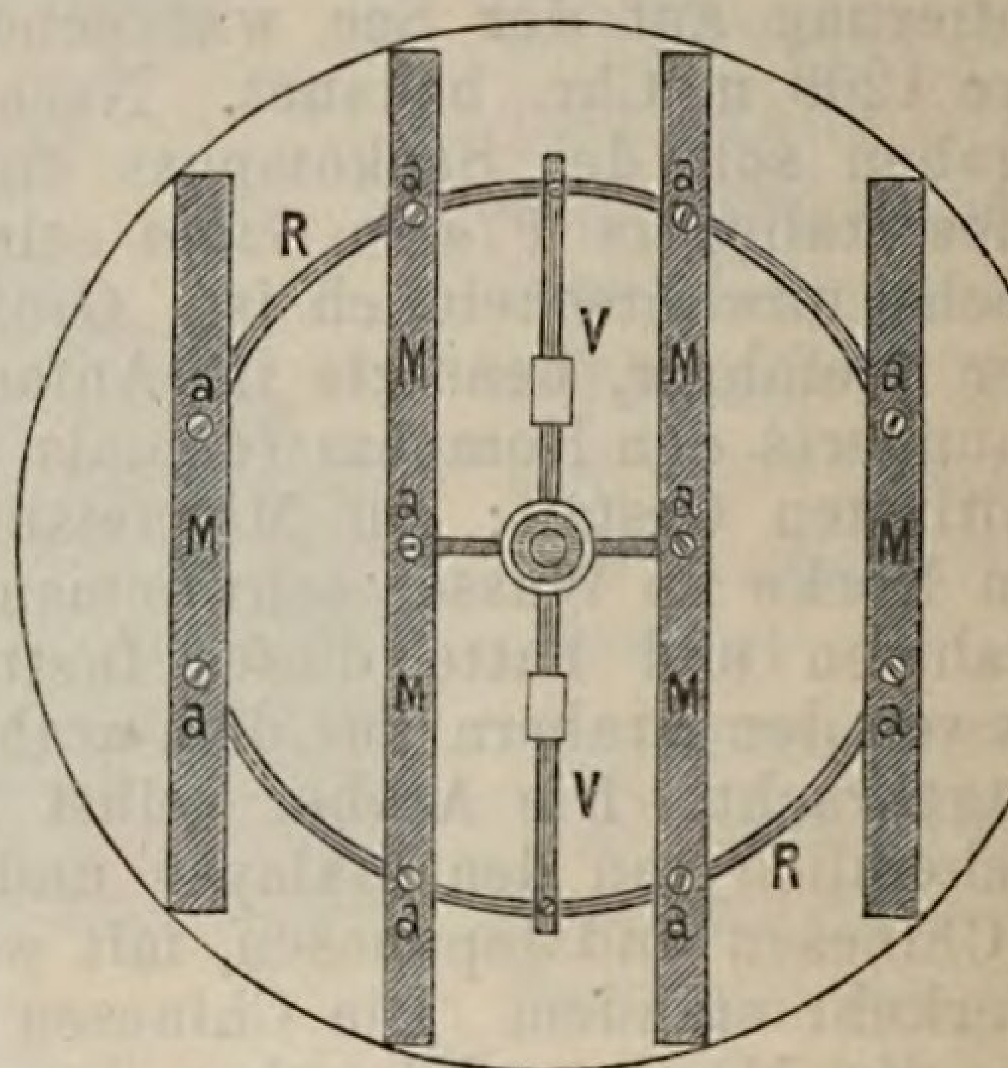
Erkl. 204. Die bei den Seekompassen in Anwendung kommende Windrose (siehe Erkl. 172, Seite 62, und Figur 75) führt in der Seemannssprache den Namen „Schiffsrose" oder kurzweg „Rose". Die auf der Rose verzeichneten Weltgegenden heissen in der Seemannssprache „Striche" oder „Winde". Bei den Schiffskompassen wird, wie die Figur 87 zeigt, jeder der einzelnen Striche nochmals in vier gleiche Teile geteilt; ausserdem ist, wie in der Figur 87, am Rande noch eine Gradeinteilung.

Erkl. 205. Die Kompasse, welche Anwendung bei Messinstrumenten finden, siehe den Abschnitt: „Die Bussole", haben statt der Windrose eine Gradeinteilung.

Erkl. 206. In den Polargegenden, besonders in der Nähe der Pole ist der Gebrauch des Kompasses nicht mehr zuverlässig, indem der Erfahrung gemäss die Stellung der Nadel fast willkürlich ist, weil die richtende Wirkung des Erdmagnetismus fast senkrecht zu der Richtung ist, in welcher sich die Magnetnadel dreht. (Siehe die Abschnitte: Ueber die Bestimmung der Deklination und Inklination.)

in einer der magnetischen Axe der Magnetnadel parallelen Richtung, so zeigt der Nordpunkt N der Windrose auf jene Marke n. Bei jeder andern Richtung des Schiffskiels zeigt ein andrer Punkt der Windrose auf jene Marke n, und die Grösse des Bogens, welche zwischen dem Nordpunkt N der Rose, bezw. der Magnetnadel (dem magnetischen Nordpol) und der Marke n (der Kielrichtung) liegt, gibt die Grösse des Winkels an, welchen die Schiffsrichtung (Kielrichtung) mit der Richtung des magnetischen Meridians macht; denn kennt man noch aus einer sogenannten Deklinationskarte die magnetische Deklination des betreffenden Ortes, so kann man aus diesen beiden Winkeln die Richtung des Schiffes in bezug auf die Mittagslinie, bezw. in bezug auf die Weltgegenden bestimmen.

Figur 88.



c). Die Bussole.

Frage 95. Was versteht man unter den sogenannten „Bussolen"?

Erkl. 207. Der Name „Bussole" kommt von dem italienischen Wort „bussola", welches auf Deutsch „Büchschen" heisst. Auch der Kompass und ähnliche Instrumente sind der Abstammung dieser Wörter entsprechend Bussolen. Im gewöhnlichen Sinn versteht man unter „Bussolen" nur die beim Feldmessen üblichen Instrumente. (Siehe Erkl. 210.)

Erkl. 208. Der Unterschied zwischen dem Seekompass und der Bussole besteht nach nebenstehender Antwort im wesentlichen darin, dass im Seekompass die Magnetnadel unter der Windrose, bezw. unter der Gradeinteilung, bei der Bussole aber über der Gradeinteilung liegt;

Antwort. Unter den sogen. „Bussolen" versteht man besonders die beim Feldmessen gebräuchlichen Winkelmessinstrumente, deren Hauptbestandteil ein büchsenförmiges Gehäuse (siehe Erkl. 207) mit einem in Grade eingeteilten Kreisring ist, in dessen Mittelpunkt eine Deklinationsnadel so angebracht ist, dass sie über jener Kreiseinteilung ihre horizontalen Schwingungen machen kann. (Siehe Erkl. 208.)

ersteres beruht teilweise auf der Gewohnheit der Seefahrer. Auch bei den Taschenkompassen liegt, wie bei den Bussolen, die Magnetnadel über der Windrose.

Erkl. 208a. Ausführliches über die Messung von Winkeln etc. findet man in Kleyer's Lehrbuch der „Geodäsie".

Frage 96. Wozu dienen die Bussolen?

Erkl. 209. Wie schon erwähnt, werden die Bussolen bei den Seefahrern durch die sogen. Azimut- und Normalkompasse, bei den Markscheidern durch die sogen. Hängekompasse ersetzt.

Erkl. 210. Alle Instrumente, welche zum Winkelmessen dienen und bei welchen eine Deklinationsnadel zur Verwendung kommt, kann man nach nebenstehender Antwort unter die Bussolen rechnen.

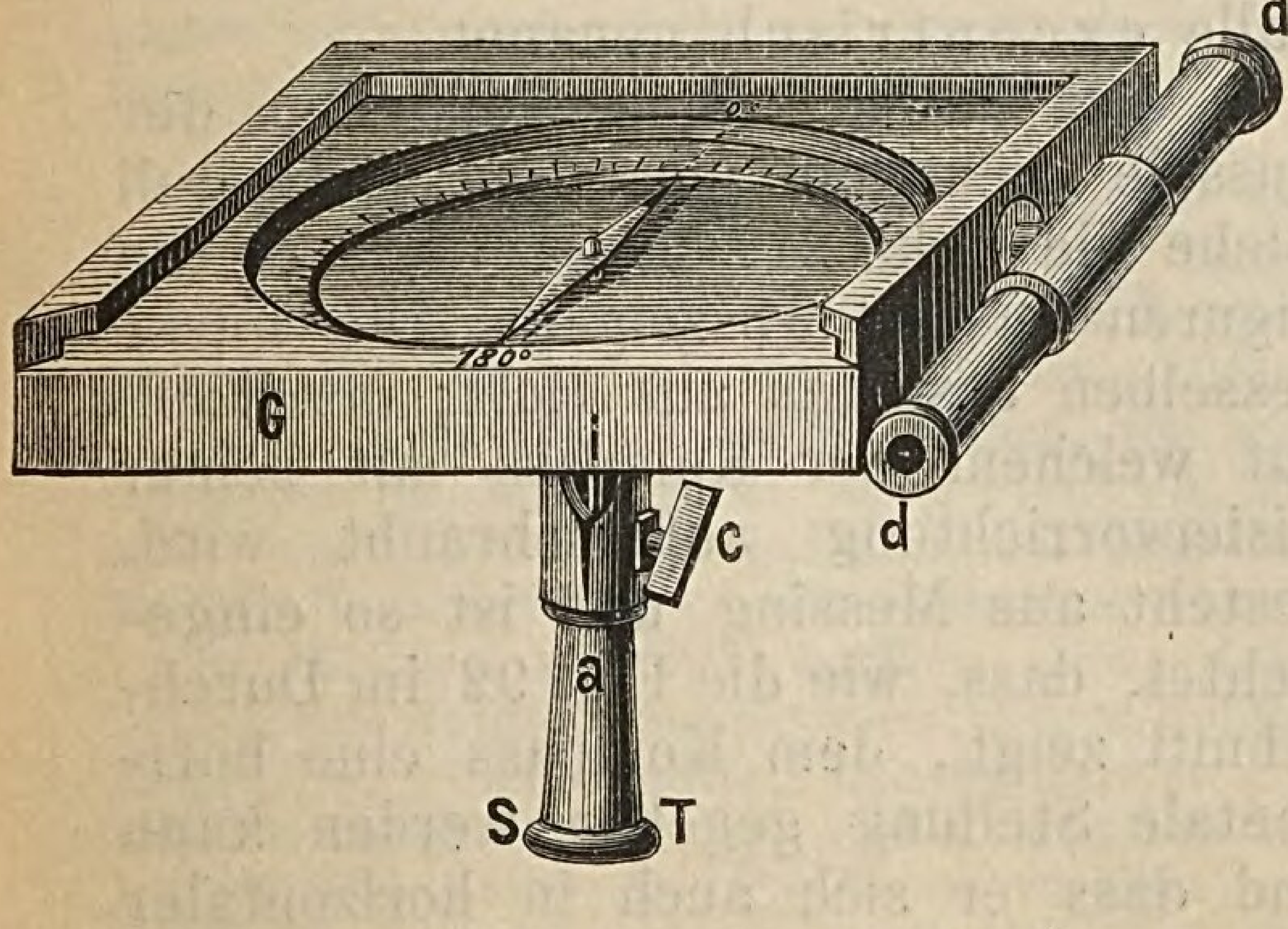
Antwort. Die Bussolen dienen zunächst zur Bestimmung der Richtung einer auf dem Felde abgesteckten Linie in bezug auf den magnetischen Meridian des Ortes, bezw., bei als bekannt vorauszusetzender Deklination, in bezug auf die Mittagslinie und dann mittelbar zum Winkelmessen. (Siehe Erkl. 209 u. 210.)

Frage 97. Welche zwei Hauptarten von Bussolen kommen beim Feldmessen in Anwendung?

Antwort. Beim Feldmessen kommt zur Bestimmung von Winkeln die sogen. „Feldbussole" oder der „Feldmesserkompass", beim Orientieren auf dem Messtisch die sogen. „Orientierbussole" in Anwendung.

Frage 98. Worin besteht die Einrichtung einer Feldbussole?

Figur 89.



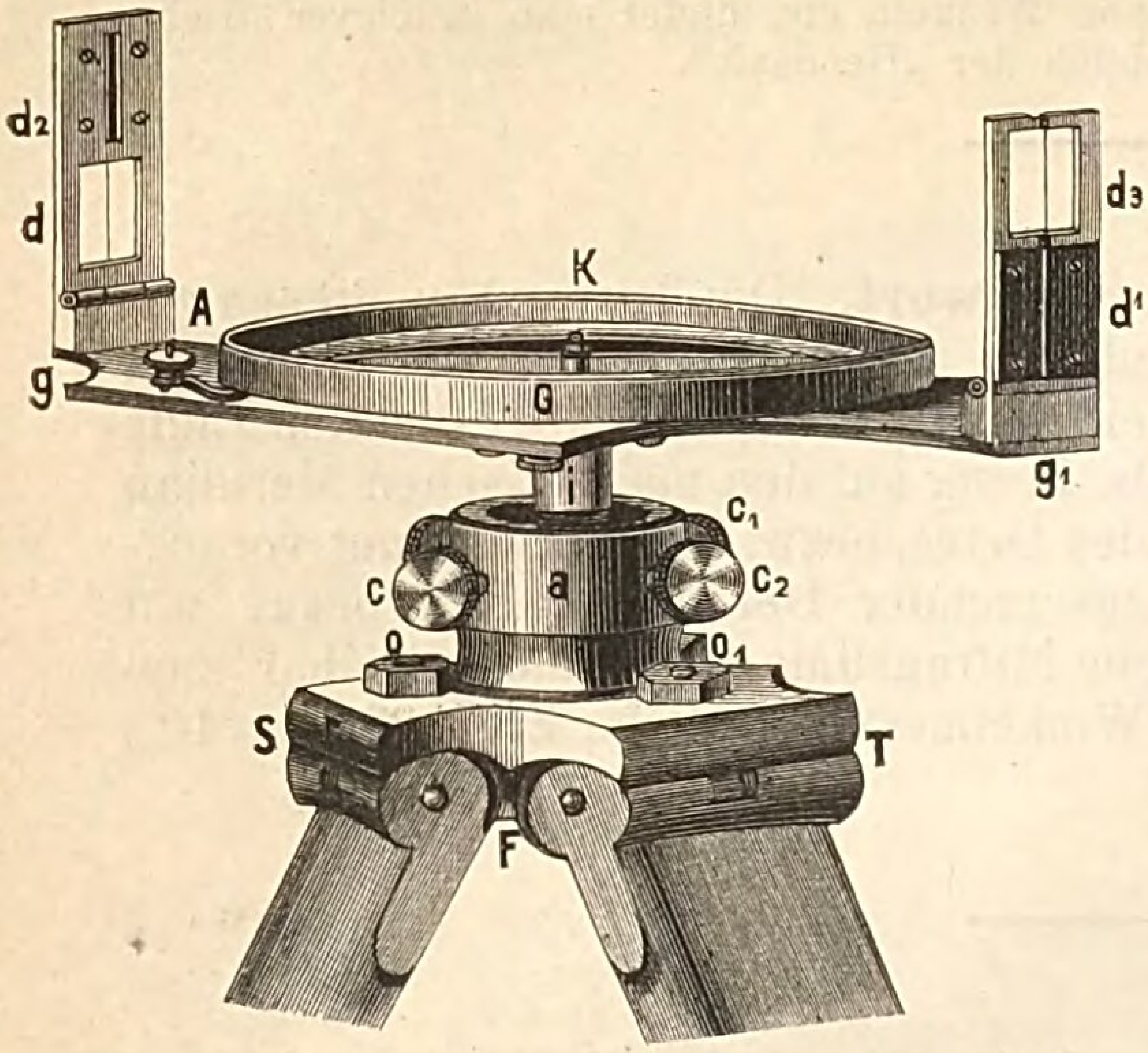
Erkl. 211. Die durch Figur 89 dargestellte Bussole ist identisch mit dem zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes zur Verwendung kommenden „Deklinatorium" (Deklinationsbussole), siehe Antw. der Frage 106.

Erkl. 212. Die durch Figur 90 dargestellte Bussole ist die von *Ertel & Sohn* in München hergestellte Feldbussole mit Diopter.

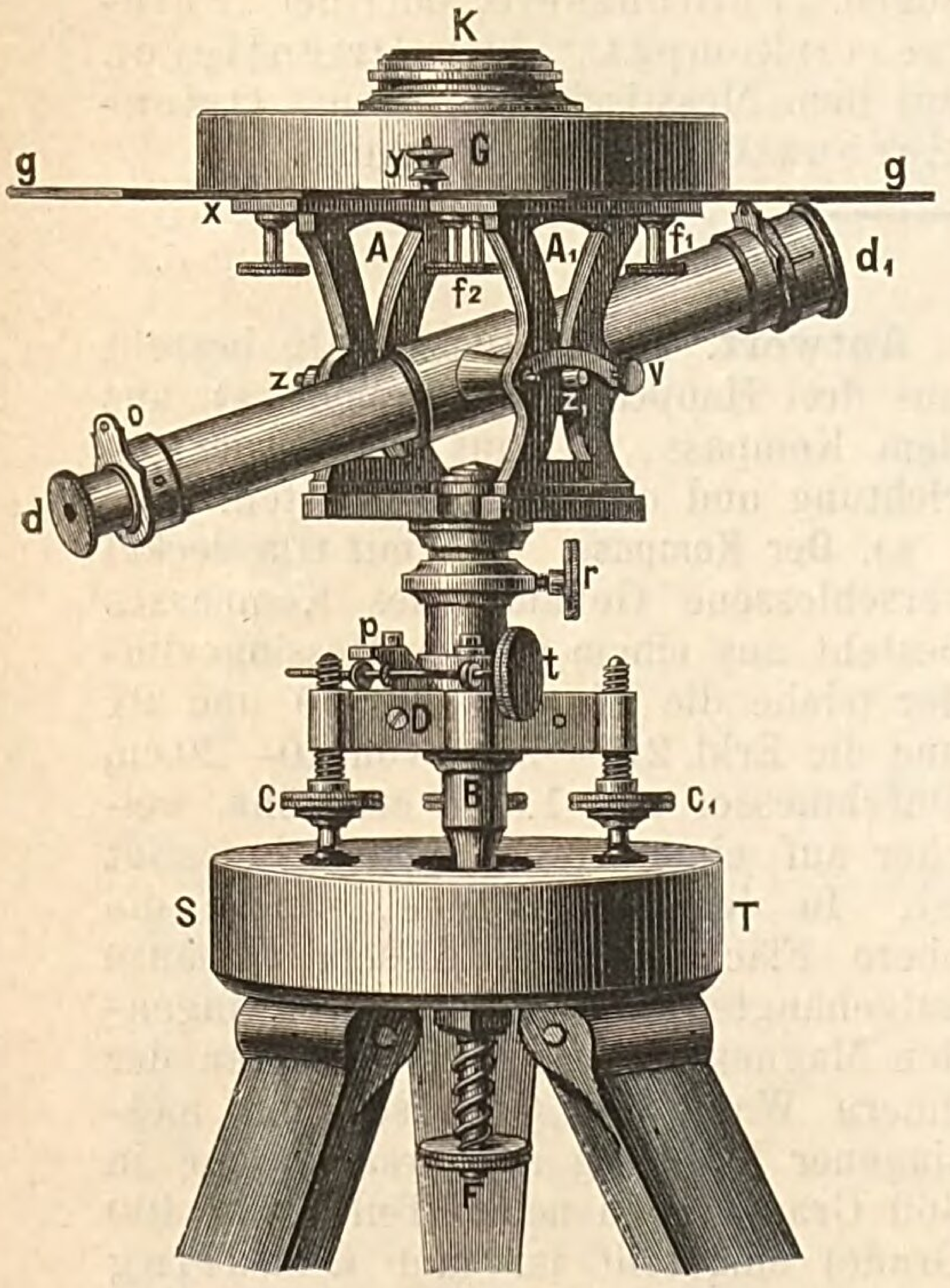
Antwort. Die Feldbussole besteht aus drei Hauptteilen, nämlich: a). aus dem Kompass, b). aus der Visiervorrichtung und c). aus dem Gestell.

a). **Der Kompass.** Das mit Glasdeckel verschlossene Gehäuse des Kompasses besteht aus einem flachen Messingcylinder (siehe die Figuren 89, 90 und 91 und die Erkl. 211—213) von 10—20 cm Durchmesser und 1,5—3 cm Höhe, welcher auf einer Messingplatte befestigt ist. In derselben Ebene, welche die obere Fläche der in diesem Gehäuse aufgehängten und horizontalschwingenden Magnetnadel beschreibt, ist an der innern Wand des Gehäuses ein messingener Kreisring angebracht, der in 360 Grade (nach neuer Teilung in 400 Grade) eingeteilt ist und Gradring genannt wird. Die Numerierung der Grade erfolgt von links nach rechts wie die Bezeichnung der Stunden auf dem Zifferblatt einer Uhr. Beim Ablesen können Bruchteile von Graden durch das Augenmass abgeschätzt werden

Figur 90.



Figur 91.



Erkl. 213. Die durch Figur 91 dargestellte Bussole ist die von *Breithaupt* in Kassel hergestellte Bussole mit Fernrohr.

Erkl. 214. Bei den Seekompassen der deutschen Kriegsflotte, besonders bei den Azimut- (siehe Erkl. 214). Die Deklinationsnadeln bei Bussolen haben meistens die durch Figur 6 dargestellte Form (siehe Erkl. 17, Seite 4). Beim Nichtgebrauch und Transport der Bussole kann die Deklinationsnadel durch eine sogenannte Arretiervorrichtung an den Glasdeckel angedrückt und festgehalten werden (dieselbe ist ähnlich wie die Arretiervorrichtung *A* in Fig. 85 beim Seekompass).

b). **Die Visiervorrichtung.** Zum Visieren einer bestimmten Richtung benutzt man entweder ein Fernrohr mit Fadenkreuz, wie in den Figuren 89 u. 91, oder einen sogenannten „Diopter“ (siehe Erkl. 215 u. 216) wie in Figur 90. Diese Visiervorrichtung kann entweder neben, wie in Fig. 89, oder über, wie in Fig. 90, oder auch unter dem Kompass, wie in Figur 91, angebracht sein; nur muss sie stets so angebracht werden, dass sich die Visierlinie in einer solchen auf dem Gradring senkrechten Ebene drehen lässt, welche den Gradring in dem die Einteilungspunkte 0° und 180° (bezw. 0° und 200° bei neuer Teilung) verbindenden Durchmesser, wie in Fig. 90 und 91, oder in einer diesem Durchmesser parallelen Linie, wie in Fig. 89, schneidet; die Visierlinie wird im letzteren Falle excentrisch genannt.

c). **Das Gestell.** Zum Aufstellen der Bussole dient ein dreifüssiges Gestell (siehe die Erkl. 217 u. 218) wie es die Figuren 90 und 91 zeigen. Die Füsse desselben bestehen aus Holz; der Kopf, auf welchem der Kompass mit seiner Visiervorrichtung aufgeschraubt wird, besteht aus Messing und ist so eingerichtet, dass, wie die Fig. 92 im Durchschnitt zeigt, dem Kompass eine horizontale Stellung gegeben werden kann und dass er sich auch in horizontaler Ebene drehen lässt (siehe Erkl. 218).

und Normalkompassen, ist die der Windrose beigefügte Gradeinteilung bis auf $^1/_3$ und $^1/_2$ Grade genau angegeben.

Erkl. 215. Bei den Arbeiten, welche mit einer Bussole beim Feldmessen gemacht werden, genügt ein „Diopter“ vollständig.

Unter „Diopter“ versteht man ein beim Feldmessen gebrauchtes Nebeninstrument zur Bestimmung einer Absehlinie, einer sogenannten Ziel- oder Visierlinie. Der Diopter besteht aus 2 Teilen, dem Okular und dem Objektiv. Das Okular enthält den Punkt der Visierlinie, der dem Auge am nächsten ist, das Objektiv enthält einen entfernteren Punkt der Visierlinie. Ein Beispiel einer Dioptervorrichtung ist das Visier und das Korn an einem Geschütz.

Okular und Objektiv sind gewöhnlich mittels eines Lineals $g g_1$, wie Figur 90 zeigt, verbunden. Das Okular d_1 besteht aus einer meist umlegbaren Scheibe, in welcher ein Loch oder eine schmale Spalte, die sogenannte Schauritze angebracht ist. Das Objektiv d besteht ebenfalls aus einer meist umlegbaren Scheibe, in deren offenem Felde ein Fadenkreuz oder nur ein Vertikalfaden angebracht ist. Die Schauritze und der Vertikalfaden des Fadenkreuzes müssen senkrecht zur Grundfläche des das Okular und das Objektiv verbindenden Lineals sein.

Ausführliches über die Einrichtung, die Prüfung und den Gebrauch eines Diopters findet man in Kleyers Lehrbuch der Geodäsie.

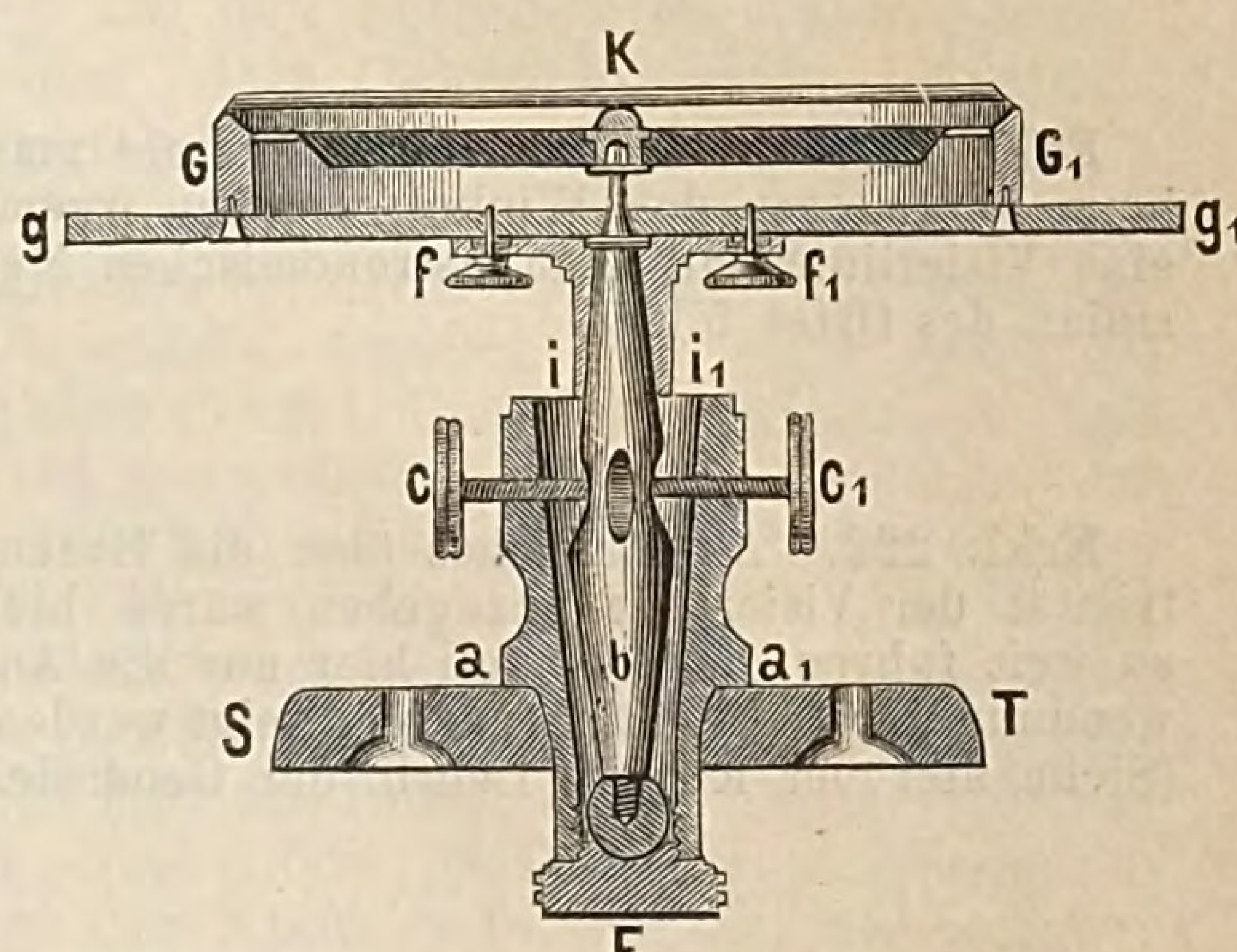
Erkl. 216. Die Visiervorrichtung in Figur 90 enthält zwei Diopter, den unteren Diopter $d d_1$ und den oberen Diopter $d_2 d_3$.

Erkl. 217. Die Azimut- und Normalkompasse werden ebenfalls auf dreifüssigen Gestellen, sogen. Stativen befestigt.

Erkl. 218. In Figur 92 ist $a a_1$ eine auf dem Fusse des dreifüssigen Stativs $S T$ befestigte Büchse, in welcher der Zapfen b nach allen Richtungen frei beweglich ist. Dieser Zapfen b wird durch 4 Stellschrauben, von welchen man im Durchschnitt, siehe Figur 92, nur zwei, c und c_1 sieht, festgehalten und kann ihm mittels derselben jede, also auch eine vertikale Stellung gegeben werden. Der obere Teil dieses Zapfens bewegt sich in dem hohlen Kegel $i i_1$, welcher mittels den Schrauben $f f_1$ an der untern Platte $g g_1$ des Kompasses befestigt ist. Steht der Zapfen b vertikal, so steht der Kompass horizontal; der Kompass selbst kann mittels des hohlen Kegels $i i_1$ in horizontaler Ebene gedreht werden.

Ausführliches findet man in Kleyers Lehrbuch der Geodäsie.

Figur 92.



Frage 99. Worin besteht im allgemeinen der Gebrauch einer Feldbussole?

Antwort. Will man mittels einer Feldbussole einen auf dem Felde ab-

Erkl. 219. Ob der Gradring des Kompasses eine horizontale Lage hat, davon kann man sich mittels einer Dosenlibelle, die man auf den Glasdeckel setzt, überzeugen; oder man kann auch untersuchen, ob die Spitze der stets wagrecht schwebenden Deklinationsnadel bei Drehung des Kompasses stets in gleicher Höhe an dem Gradring bleibt.

Erkl. 220. Beide Ablesungen müssen um 180° (bezw. um 200° bei neuer Teilung) verschieden sein. Ist dies nicht der Fall, so dreht sich die Nadel nicht genau über dem Mittelpunkt der Kreisteilung und die Nadel ist excentrisch. In diesem Falle nimmt man das arithmetische Mittel aus beiden Ablesungen, wobei man aber die Ablesung am Südpol der Nadel um 180° (bezw. 200°) mindern muss.

Erkl. 221. Unter „Azimut“ versteht man beim Feldmessen den Winkel, welchen irgend eine Visierlinie mit dem astronomischen Meridian des Ortes bildet.

Erkl. 222. Ausführliches über die Excentricität der Visierlinie anzugeben würde hier zu weit führen, denn es soll hier nur die Anwendung der Deklinationsnadel gezeigt werden. (Siehe hierüber Kleyers Lehrb. der Geodäsie.)

Erkl. 223. Einen hohen Grad von Genauigkeit erreicht man bei Anwendung der Bussolen nicht. Bei sehr genauen und grösseren Vermessungen bedient man sich der Theodolite. (Siehe Antwort der Frage 104.)

gesteckten Winkel bestimmen, so stellt man die Bussole über den Scheitelpunkt des Winkels lotrecht auf, bringt mittels den Stellschrauben c, c_1, c_2, c_3, siehe Fig. 92, den Kompass, bezw. dessen Gradring in eine horizontale Lage (siehe Erkl. 219). Dann visiert man mittels des Diopters oder des Fernrohrs das den linken Winkelschenkel bezeichnende Signal ein und liest, wenn die Deklinationsnadel in Ruhe gekommen ist, an den Stellen des Gradrings, auf welche der Nord- und der Südpol der Nadel zeigen, die Gradeinteilung ab (siehe Erkl. 220). Jede Ablesung ergibt die Neigung der einvisierten Linie gegen den magnetischen Meridian [wobei man aber die Ablesung am Südpol der Nadel um 180° (200°) vermindern muss], d. i. das sogen. „Azimut“ (siehe Erkl. 221). Jetzt visiert man mittels des Diopters oder Fernrohrs das den rechten Winkelschenkel bezeichnende Signal ein und bestimmt auf dieselbe Weise das Azimut dieser Visierlinie.

Die Differenz der beiden somit bestimmten Azimute ist gleich dem zu messenden Winkel.

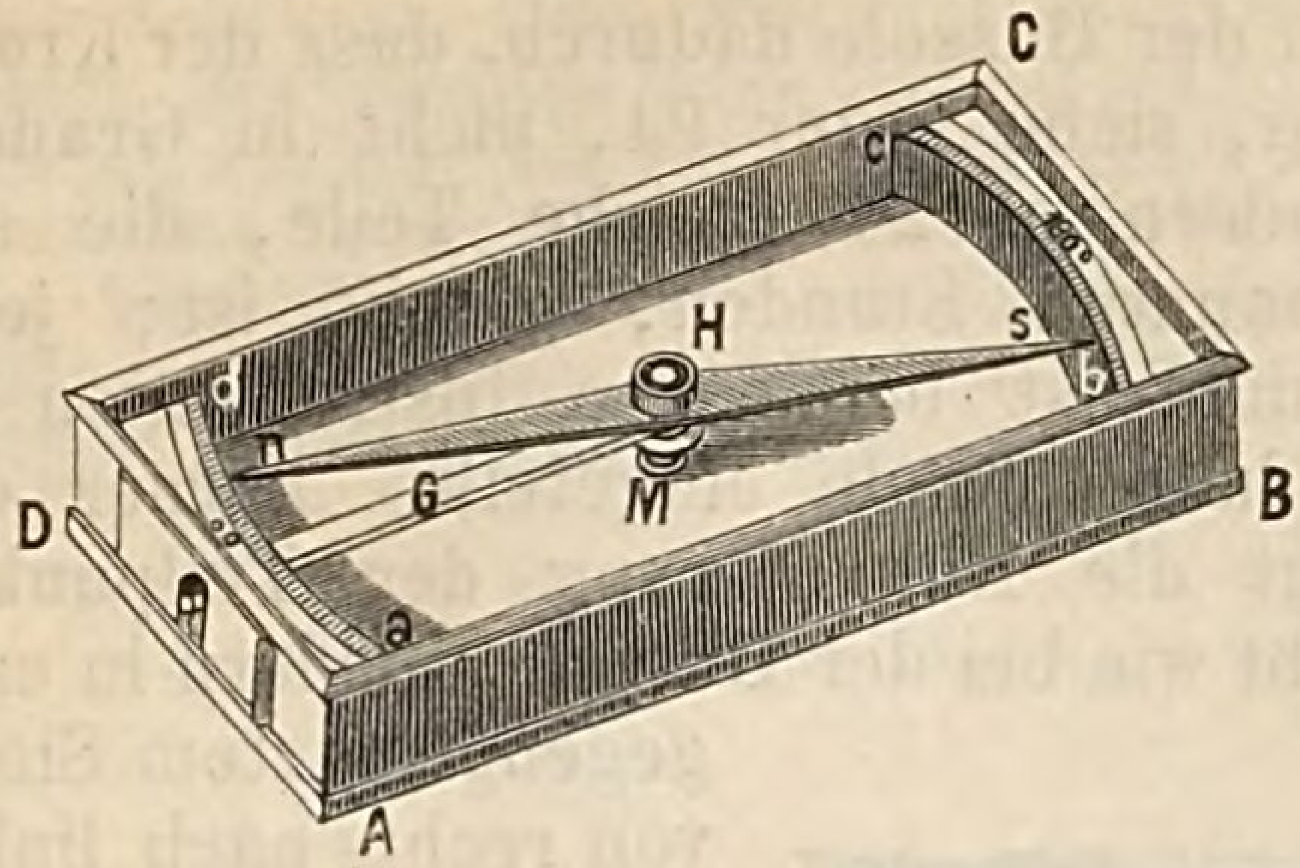
Sind die Visierlinien, bezw. ist der Diopter oder das Fernrohr, wie in Figur 89, excentrisch, gehen also die Visierlinien nicht durch den Mittelpunkt der Kreiseinteilung (wie auch schon in der Erkl. 220 angegeben ist), so ergibt sich der sogenannte Excentricitätsfehler. Derselbe kann vermieden werden, wenn man das Fernrohr durchschlägt, eine zweite Ablesung macht und aus allen Ablesungen das arithmetische Mittel nimmt (siehe Erkl. 222 und 223).

Frage 100. Worin besteht die Einrichtung der sogenannten Orientierbussole?

Antwort. Die Einrichtung einer Orientierbussole ist im allgemeinen folgende:

In einem rechteckigen Kästchen *ABCD* von Messing und von 15 cm Länge, 7 cm Breite und 2 cm Höhe, siehe Figur 93, befindet sich eine Deklinationsnadel, welche über zwei an den kürzeren Seiten des Kästchens angebrachten, in Grade eingeteilten Kreisbogenstücken *ad* und *bc* schwebt. Was

Figur 93.



die Gradeinteilung dieser Kreisbogen anbetrifft, so ist dieselbe so, dass wenn man sich den durch beide Bogenstücke bestimmten vollständigen Kreis wie bei der Feldbussole eingeteilt denkt, der durch die Teilpunkte 0° und 180° (bezw. 0° und 200°) gehende Durchmesser parallel den längeren Seiten des Kästchens ist. Das Kästchen ist mit einem Glasdeckel verschlossen, an welchen beim Nichtgebrauch und Transport die Deklinationsnadel *ns* mittels einer Arretiervorrichtung *G* angedrückt werden kann.

Frage 101. Wozu dient und worin besteht im allgemeinen der Gebrauch einer Orientierbussole?

Antwort. Die Orientierbussole dient dazu, bei den Messtischaufnahmen (siehe Erkl. 224) die Mittagslinie zu ermitteln und auf den betreffenden Karten anzugeben. Der Gebrauch ist im allgemeinen folgender:

Hat man mittels des Messtisches eine Aufnahme gemacht und man will noch die Mittagslinie angeben, so stellt man die Orientierbussole auf den Messtisch und dreht sie solange bis das Nordende der Deklinationsnadel auf den Punkt 0°, das Südende auf den Punkt 180° (200°) der Gradeinteilung zeigt, zieht man alsdann an der Längsseite des Kästchens entlang, welches hier als Lineal dient, eine Gerade, so ist diese Linie parallel der magnetischen Axe der Nadel, bezw. parallel dem magnetischen Meridian des Ortes; zieht man ferner noch durch einen beliebigen Punkt dieser Linie eine andre Linie so, dass sie mit jener einen Winkel bildet, der gleich der als bekannt vorauszusetzenden magnetischen Deklination des Ortes ist, so erhält man mit dieser zweiten Linie die astronomische Mittagslinie des Ortes.

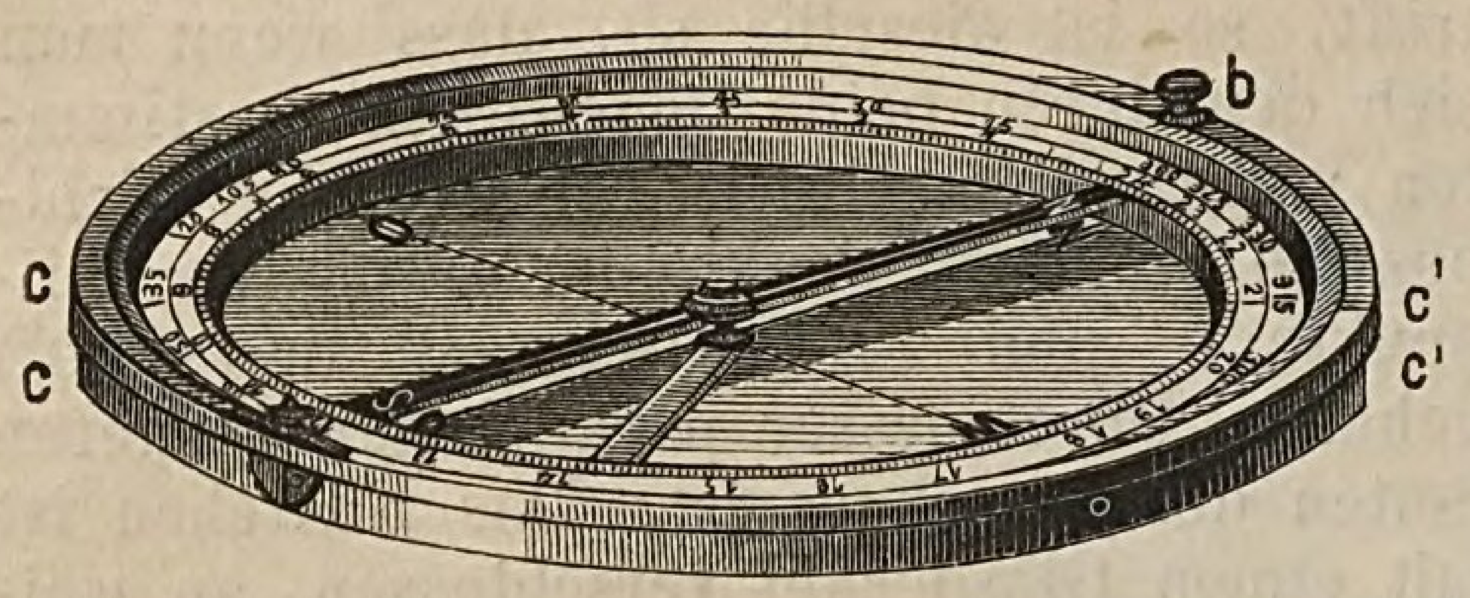
Erkl. 224. Ausführliches über die Messtischaufnahmen findet man in Kleyer's Lehrbuch der Geodäsie.

d). Der Hängekompass.

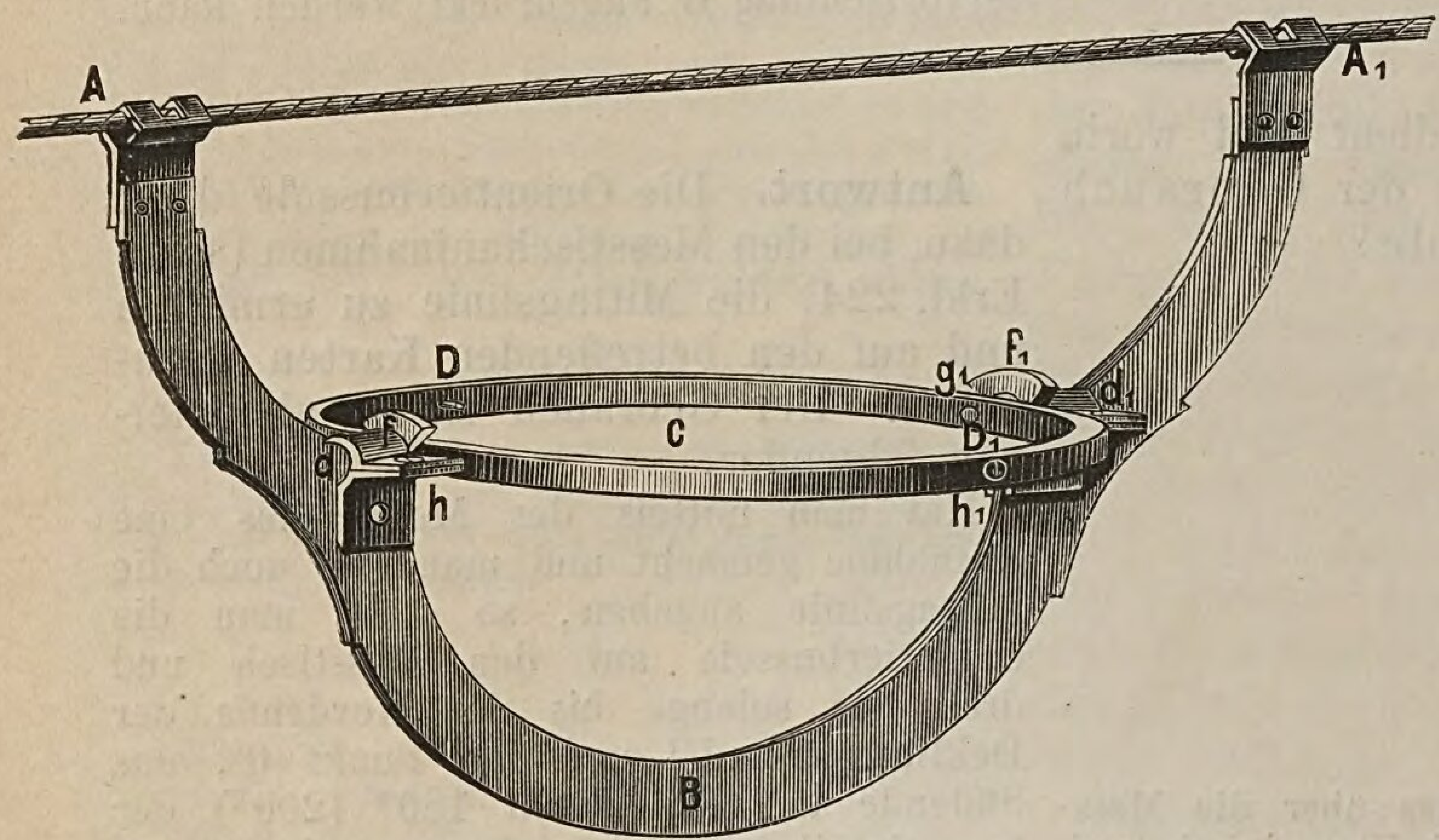
Frage 102. Wozu dient und worin besteht im allgemeinen die Einrichtung eines Hängekompasses?

Antwort. Der Hängekompass dient zum Messen horizontaler Winkel in den Gruben; er dient somit denselben Zwecken beim Markscheiden, wie die Bussole beim Feldmessen; seine Einrichtung muss hiernach auch im allgemeinen dieselbe sein wie die der Bussole. Seine Verschiedenheiten von der Bussole beruhen teilweise auf der Gewohnheit der Bergleute (wie z. B. die Einteilung in Stunden).

Figur 94.



Figur 95.



Erkl. 225. Ausführliches über den Hängekompass, bezw. über dessen detaillierte Einrichtung, Prüfung, Berichtigung und Gebrauch findet man in Kleyer's Lehrbuch der Geodäsie und zwar in dem Abschnitt, welcher über die Markscheidekunst handelt. An dieser Stelle soll nur ein Bild desselben gegeben werden.

Der Hängekompass unterscheidet sich von der Bussole dadurch, dass der Kreisring, siehe Figur 94, nicht in Graden, sondern in 24 gleiche Teile, die sogenannten Stunden, geteilt ist; jede Stunde ist bei neuen Instrumenten in 30 halbe Grade eingeteilt. Ferner erfolgt die Numerierung der Teilpunkte nicht wie bei der Bussole, sondern in entgegengesetztem Sinne von rechts nach links, und da, wo bei der Bussole der Westpunkt angegeben ist, ist beim Hänge-Kompass der Ostpunkt.

Der Hängekompass wird nicht wie die Bussole auf einem Gestell befestigt, sondern er wird beim Messen von Winkeln, bezw. bei der Bestimmung eines Azimuts, wie die Fig. 95 zeigt, an einem gespannten Seile AA_1 aufgehängt (daher sein Name), dessen Richtung mit der Richtung des betreffenden Winkelschenkels zusammenfällt. Die Vorrichtung, welche zum Aufhängen dient, nennt man das Hängezeug und besteht aus dem Hängebogen ABA_1 und dem Hängekranz DD_1, welche aus hart geschlagenem Messing angefertigt werden (siehe Erkl. 225). Der Gebrauch ist analog dem der Bussole.

5). Ueber die magnetische Deklination.

a). Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes.

(Deklinationsbussolen, Magnetometer, magnetischer Theodolit.)

Frage 103. In welche zwei Hauptoperationen zerfällt die Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes?

Erkl. 226. In der Erkl. 172, Seite 62, ist unter 2). bereits gezeigt, auf welche Weise sich mittels zweier gleichen Schattenlängen eines vertikalen Stabes die Mittagslinie eines Ortes bestimmen lässt. Da diese Bestimmungsweise

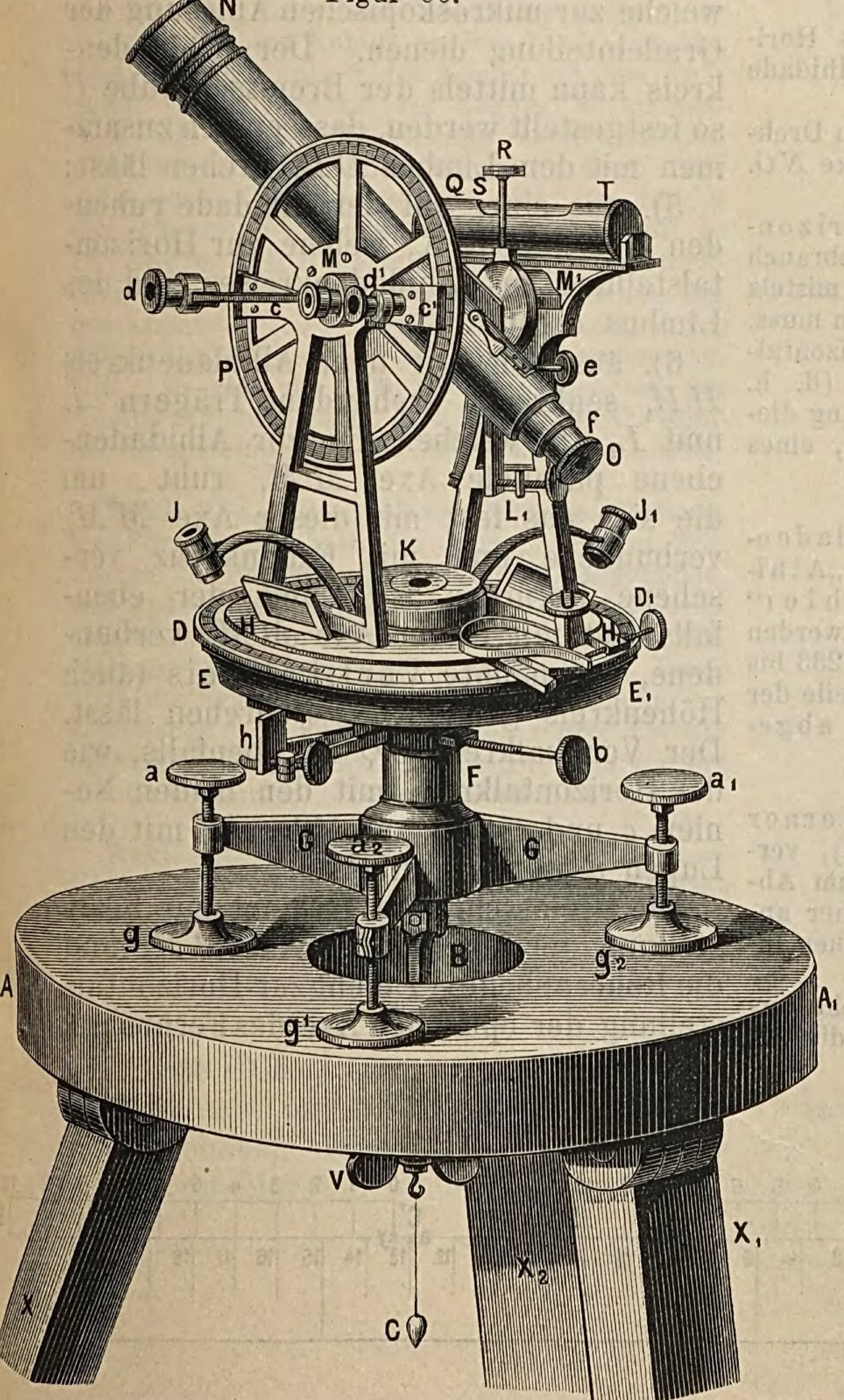
Antwort. Nach der Erkl. 177, S. 65, ist die magnetische Deklination eines Ortes der Winkel, welchen die magnetische Axe eines horizontal frei aufgehängten und in Ruhe befindlichen Magnetstabes mit der Mittagslinie des Ortes, bezw. mit der Ebene des astronomischen Meridians des Ortes bildet.

schon aus dem Grunde, weil sich die Konturen eines Schattens nicht sehr genau erkennen lassen, eine ziemlich ungenaue (approximative) ist, so ist in den zwei nachstehenden Antworten das in der Erkl. 172 unter 3). angegebene Verfahren in seinen Grundzügen vorgeführt. (Ausführliches findet man hierüber in Kleyers Lehrbuch der Astronomie.)

Die Bestimmung der magnetischen Deklination zerfällt hiernach in zwei Hauptoperationen, nämlich in die Bestimmung der Mittagslinie, bezw. in die Bestimmung des astronomischen Meridians des Ortes, und in die Messung des Winkels (der Deklination), welchen die Mittagslinie mit der magnetischen Axe eines in Ruhe befindlichen horizontal schwebenden Magnetstabes bildet (siehe Erkl. 226).

Frage 104. Worin besteht im allgemeinen die Einrichtung eines Theodolits (siehe Erkl. 227)?

Figur 96.



Antwort. Die Einrichtung eines Theodolits, wie ihn die Figur 96 zeigt (siehe Erkl. 228) besteht im allgemeinen (siehe Erkl. 229) aus folgenden Hauptteilen:

1). Aus dem dreifüssigen Stativ AA_1, in dessen Mitte sich das Loch B befindet, welches es möglich macht, dass das auf diesem Stativ sitzende Instrument mittels des unten befindlichen Senkels C genau über dem Beobachtungspunkt so aufgestellt werden kann, dass infolge der weiteren Einrichtung des Instruments die Mittelpunkte aller horizontalen Drehaxen in der durch den Aufhängefaden des Senkels C bestimmten vertikalen Axe zu liegen kommen (siehe Erkl. 230);

2). aus dem Messingteller EE_1, der mittels der Hülse F mit dem massiven messingenen Untergestell G, welches durch die drei Stellschrauben a, a_1, a_2 so gestellt werden kann, dass die Ebene des Tellers, bezw. die Ebene des unter 3). erwähnten Kreisrings DD_1 horizontal gestellt werden kann, fest verbunden ist;

3). aus dem in Grade eingeteilten Kreisring DD_1, „Horizontalkreis" oder „Limbus" genannt (s. Erkl. 231), der in dem Messingteller EE_1 ruht und mit einem (in der Figur nicht sichtbaren) in der Hülse F steckenden Konus verbunden

ist, mittels welchem jener Kreisring (um eine vertikale Axe) gedreht werden kann, wobei zur Feststellung die Bremsschraube b dient;

4). aus dem in derselben Ebene mit dem Kreisring DD_1 liegenden Kreis HH_1, „Alhidadenkreis" genannt (siehe Erkl. 232). Derselbe schliesst sich genau an den Rand des Kreisrings DD_1 an und dreht sich um eine durch den Mittelpunkt des Kreisrings DD_1 gehende und auf ihm senkrecht stehende Axe; trägt ausserdem an den Endpunkten eines seiner Durchmesser zwei Nonien (siehe Erkl. 233) mit den an diesen Stellen der Alhidade angebrachten Lupen J und J_1, welche zur mikroskopischen Ablesung der Gradeinteilung dienen. Der Alhidadenkreis kann mittels der Bremsschraube U so festgestellt werden, dass er sich zusammen mit dem Limbus DD_1 drehen lässt;

5). aus einer auf der Alhidade ruhenden Dosenlibelle K, welche zur Horizontalstellung des Alhidadenkreises und des Limbus dient;

6). aus den auf dem Alhidadenkreis HH_1 senkrecht stehenden Trägern L und L_1, in welchen die zur Alhidadenebene parallele Axe MM_1 ruht, um die sich das fest mit dieser Axe MM_1 verbundene und mit Fadenkreuz versehene Fernrohr NO und der ebenfalls fest mit dieser Axe MM_1 verbundene, sogenannte Vertikalkreis (auch Höhenkreis genannt) PQ drehen lässt. Der Vertikalkreis PQ ist ebenfalls, wie der Horizontalkreis, mit den beiden Nonien c und c_1 und zur Ablesung mit den Lupen d und d_1 versehen.

Die Bremsschraube R dient zur Feststellung der horizontalen Axe MM_1 und die Röhrenlibelle ST dient zur Horizontalstellung der optischen Axe des Fernrohrs.

Erkl. 227. Unter einem „Theodolit" versteht man einen Winkelmesser mit einem in Grade eingeteilten sogenannten Horizontalkreis und einem in Grade eingeteilten Vertikalkreis.

Erkl. 228. Die Figur 96 stellt einen sogenannten Repetitionstheodolit dar, wie ihn der Hofmechanikus *Siener* (Nachfolger *Schäffer*) in Darmstadt dem Verfasser lieferte.

Erkl. 229. Ausführliches über die Einrichtung, den Gebrauch, die Prüfung und Berichtigung der Theodolite findet man in Kleyers Lehrbuch der Geodäsie.

Erkl. 230. In der durch den Aufhängefaden des Senkels C (siehe Figur 96) bestimmten vertikalen Axe müssen bei richtiger (horizontaler) Aufstellung des Instruments folgende Punkte liegen:

a). der gemeinsame Mittelpunkt des Horizontalkreises (Limbus) DD_1 und der Alhidade HH_1;

b). der Schnittpunkt der horizontalen Drehaxe MM_1 und der optischen Fernrohraxe NO.

Erkl. 231. Die Bezeichnung „Horizontalkreis" rührt daher, weil vor dem Gebrauch des Theodolits die Ebene dieses Kreises mittels einer Libelle horizontal gestellt werden muss. Die lateinische Bezeichnung des Horizontalkreises mit dem Namen „Limbus" (d. h. Streifen) rührt daher, weil die Gradteilung dieses Kreises die Form eines Kreisrings, eines schmalen kreisförmigen Streifens hat.

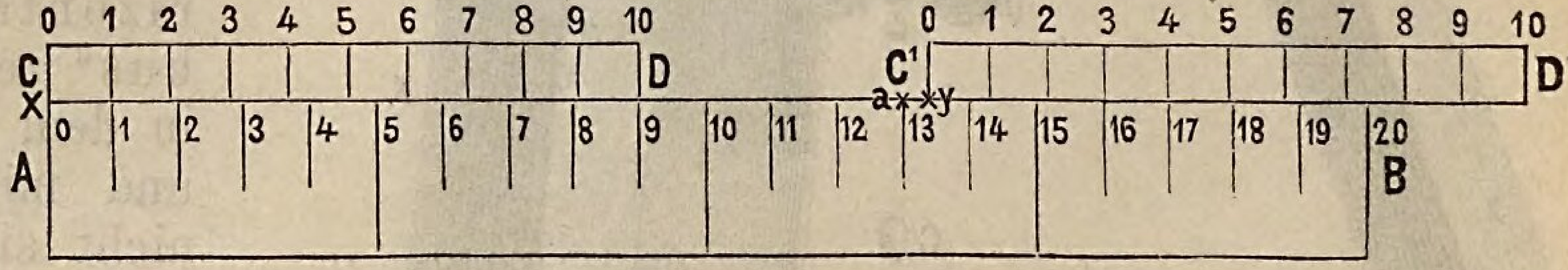
Erkl. 232. Die Bezeichnung „Alhidadenkreis" kommt von dem arabischen Wort „Alhidade", welches nach *Montucla* „Zähler" heisst. Beim Gebrauch des Theodolits werden mit Hilfe des die Nonien (siehe Erkl. 233 bis 235) tragenden Alhidadenkreises Bruchteile der Grade am Horizontalkreis (Limbus) abgezählt.

Erkl. 233. Unter „Nonius", auch Werner oder Vernier genannt (siehe Erkl. 234), versteht man eine Teilung, welche man zum Ablesen von Bruchteilen der Einheiten einer andern analogen Teilung bei mathematischen Instrumenten anwendet.

Eine „Noniusvorrichtung" besteht aus einem grösseren Massstab AB, siehe die Figuren 97 und 98, welcher meist die Form eines Streifens hat und deshalb Limbus heisst (siehe Erkl. 231), und aus einem an ersterem hin- und herschiebbaren kleinen Massstab CD, welcher nach seinem Erfinder „Nonius" heisst (s. Erkl. 233).

Es gibt zwei Arten von Nonien, nämlich der soge-

Figur 97.

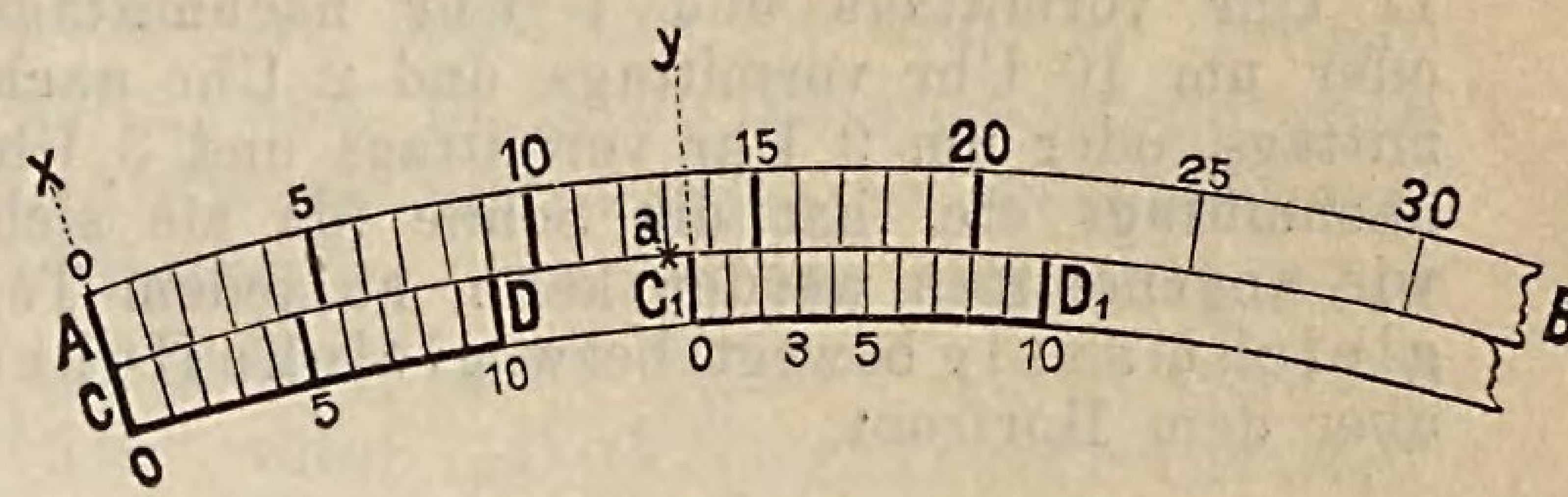


nannte „nachtragende Nonius" und der sogenannte „vortragende Nonius" (siehe Erklärung 235).

Die Einteilung des nachtragenden Nonius CD in Figur 97 und 98 ist derart, dass eine bestimmte Anzahl, z. B. von 9 Teilen des Limbus, gleich sind $9+1$ oder 10 Teilen des Nonius. Weil nach dieser Einteilung des Nonius CD jeder Teilstrich desselben gegen den entsprechenden Teilstrich des Limbus um etwas zurücksteht, heisst er nachtragender Nonius. Aus den Figuren 97 und 98 ersieht man, dass der 1te Teilstrich 1 des Nonius um $\frac{1}{10}$, der 2te um $\frac{2}{10}$, der 3te um $\frac{3}{10}$, ... der 10te um $\frac{10}{10}$ einer Längeneinheit des Limbus, bezw. gegen den 1ten, 2ten, 3ten, ... 10ten Teilstrich des Limbus zurückbleibt, und hierauf beruht der Gebrauch des Nonius.

Will man, siehe die Figuren 97 u. 98, z. B. die Strecke, bezw. den Bogen xy messen, so schiebt man den Nonius an dem Limbus so hin, dass der Nullpunkt 0 des Nonius mit dem Endpunkt y der Strecke (des Bogens) zusammenfällt (die genaue Einstellung erfolgt mittels einer sogenannten Mikrometerschraube). Die zu messende Strecke xy ist also für den in den Figuren 97 und 98 dargestellten Fall $=$ 13 Längen- oder Bogeneinheiten plus dem Stückchen ay; sucht man nun zur Bestimmung des Stückchens ay den Teilstrich des Nonius, der mit einem Teilstrich des Limbus zusammenfällt, so gibt die über diesem Teilstrich des Nonius stehende Zahl, hier 3, an, wieviel zehntel Längeneinheiten das Stückchen ay misst.

Figur 98.



Erkl. 234. *Pero Nunez (Petrus Nonius)*, ein Portugiese, hatte im Jahre 1492 ein Verfahren zur Messung kleiner Winkel angegeben, was später den Stadthauptmann *Peter Werner* veranlasste, dem Nonius seine jetzt übliche Gestalt zu geben, welche er in einer im Jahre 1631 zu Brüssel in französischer Sprache erschienenen und mit dem Namen *Pierre Vernier* unterzeichneten Schrift beschrieb. Daher rührt die Bezeichnung „Werner" oder „Vernier".

Erkl. 235. Beim „vortragenden Nonius" sind z. B. 10 Teile des Limbus gleich 11 Teilen des Nonius. Die Einrichtung und der Gebrauch ist analog dem in der Erkl. 233 beschriebenen nachtragenden Nonius.

Frage 105. Auf welche Weise bestimmt man mit dem in voriger Antwort beschriebenen Theodolit den astronomischen Meridian eines Ortes?

Antwort. Mittels dem in voriger Antwort beschriebenen Theodolit bestimmt man nach dem in der Erkl. 172, S. 62, unter 3). angegebenen Verfahren den astronomischen Meridian eines Ortes wie folgt:

Nachdem alle Bremsschrauben zugedreht sind, stellt man zunächst den Theodolit über

dem Punkte, durch welchen der betreffende Ort näher bezeichnet ist, so auf, dass der Senkel C über diesem Punkte schwebt und der Alhidadenkreis HH_1 (oder der Limbuskreis) eine ungefähr horizontale Lage hat. Dann löst man die Bremsschraube U, siehe Figur 96, gibt dem Alhidadenkreis verschiedene Drehungen und untersucht hierbei, ob die Dosenlibelle K einspielt; ist dies der Fall, so steht die Ebene dieses Kreises schon genau horizontal, ist dies nicht der Fall, so ändert man mittels den Stellschrauben a, a_1 und a_2 die Lage jener Kreisebene so lange, bis die Libelle einspielt.

Nun wählt man auf einer genau regulierten Uhr zwei Zeiten, an welchen die Sonne an einem und demselben Tage gleiche Höhe über dem Horizont hat, z. B. die Zeit um 10 Uhr morgens und 2 Uhr nachmittags (siehe Erkl. 236), dann löst man die das Fernrohr festhaltende Bremsschraube R und visiert genau um 10 Uhr morgens die Sonne möglichst scharf ein, dreht die Bremsschrauben R und U fest und liest mit Hilfe der Lupen J und J_1 an den Nonien die Gradeinteilung des Limbus DD_1 ab (beide Ablesungen sind um 180° bei alter, um 200° bei neuer Teilung, verschieden). Dann löst man die Bremsschrauben R und U und visiert genau um 2 Uhr nachmittags die Sonne wieder möglichst scharf ein, dreht die Bremsschrauben R und U fest und liest abermals die Gradeinteilung des Limbus DD_1 an den Nonien ab.

Subtrahiert man die mittels ein und derselben Lupe am Vor- und Nachmittag gemachten Gradablesungen, so erhält man jedesmal den Winkel, welchen die horizontalen Projektionen der Fernrohraxe zu den verschiedenen Zeiten mit einander gebildet haben (siehe Erkl. 237).

Halbiert man endlich den somit erhaltenen Winkel und dreht, nachdem die Bremsschraube U wieder gelöst ist, den Alhidadenkreis so, dass die optische Axe des Fernrohrs in die vertikale Ebene zu liegen kommt, in welcher die Halbierungslinie jenes Winkels liegt, stellt dann die Alhidade mittels der Schraube U fest und dreht das Fernrohr um seine horizontale Axe MM_1, so beschreibt bei dieser Drehung die optische Axe des Fernrohrs die Ebene des astronomischen Meridians des Ortes. Zur Festlegung dieses Meridians kann man irgend einen Punkt einer festen Wand, welcher bei dieser vollständigen Umdrehung des Fernrohrs von dem Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes gedeckt wird, kennzeichnen (markieren). Mittels

Erkl. 236. In dem Augenblick, in welchem die Sonne ihren höchsten Stand über dem Horizont erreicht, in welchem sie also kulminiert, durchschneidet sie den astronomischen Meridian des Ortes und es ist mittags 12 Uhr (hiernach werden die Uhren reguliert). Zu gleichen Zeiten vor und nach diesem Zeitpunkt, also z. B. um 11 Uhr vormittags und 1 Uhr nachmittags, oder um 10 Uhr vormittags und 2 Uhr nachmittags, oder um 9 Uhr vormittags und 3 Uhr nachmittags etc. hat die Sonne (da sie sich, wie angenommen werden kann, an jedem Tag gleichmässig bewegt) bezw. gleiche Höhen über dem Horizont.

Erkl. 237. Stimmen die beiden erhaltenen Winkel nicht miteinander überein, was infolge von gewissen Fehlern des Instruments stattfinden kann, so nimmt man das arithmetische Mittel aus beiden Winkeln.

Erkl. 238. Mittels des an dem Theodolit angebrachten Vertikalkreises (Höhenkreises) PQ kann man die Sonnenhöhen zu den angegebenen Tageszeiten messen, wenn man, nachdem die Sonne einvisiert ist, die Gradeinteilung an diesem Höhenkreis abliest; dann das Fernrohr mittels der Libelle ST horizontal stellt und abermals die Gradeinteilung an diesem Höhenkreis abliest. Die Differenz beider Ablesungen ist die Sonnenhöhe zu der betreffenden Zeit. Waren bei Bestimmung des Meridians nach nebenstehender Antwort die Zeiten gleichweit vom Zeitpunkt der Kulmination der Sonne ab gewählt, so müssen auch die dabei beobachteten Sonnenhöhen gleich sein, was zur Kontrolle dienen kann. Ausführliches findet man in Kleyers Lehrb. der Astronomie.

des somit festgelegten Punktes, „Marke oder Mire“ genannt, kann die Ebene des astronomischen Meridians des betreffenden Ortes zu jeder Zeit auf leichte Weise bestimmt werden.

Frage 106. Welcher Instrumente bedient man sich zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes?

Antwort. Zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes benutzte man früher ausschliesslich die durch die Figuren 89 und 99 dargestellte und in ihren Hauptbestandteilen in Antwort der Frage 98 beschriebene Feldbussole, welche bei diesbezüglicher Verwendung den Namen „Deklinatorium“ oder „Deklinationsbussole“ (siehe Erkl. 211, Seite 75) führt.

In neuerer Zeit sind dieses Deklinatorium und alle übrigen ähnlichen mit mancherlei Verbesserungen versehenen Deklinatorien durch das von *Gauss* erfundene Magnetometer mit Spiegelablesung (s. Erkl. 239), welches genauere Resultate ergibt, vollständig verdrängt.

Erkl. 239. Von den Deklinatorien, ebenso von den Magnetometern gibt es verschiedene Arten.

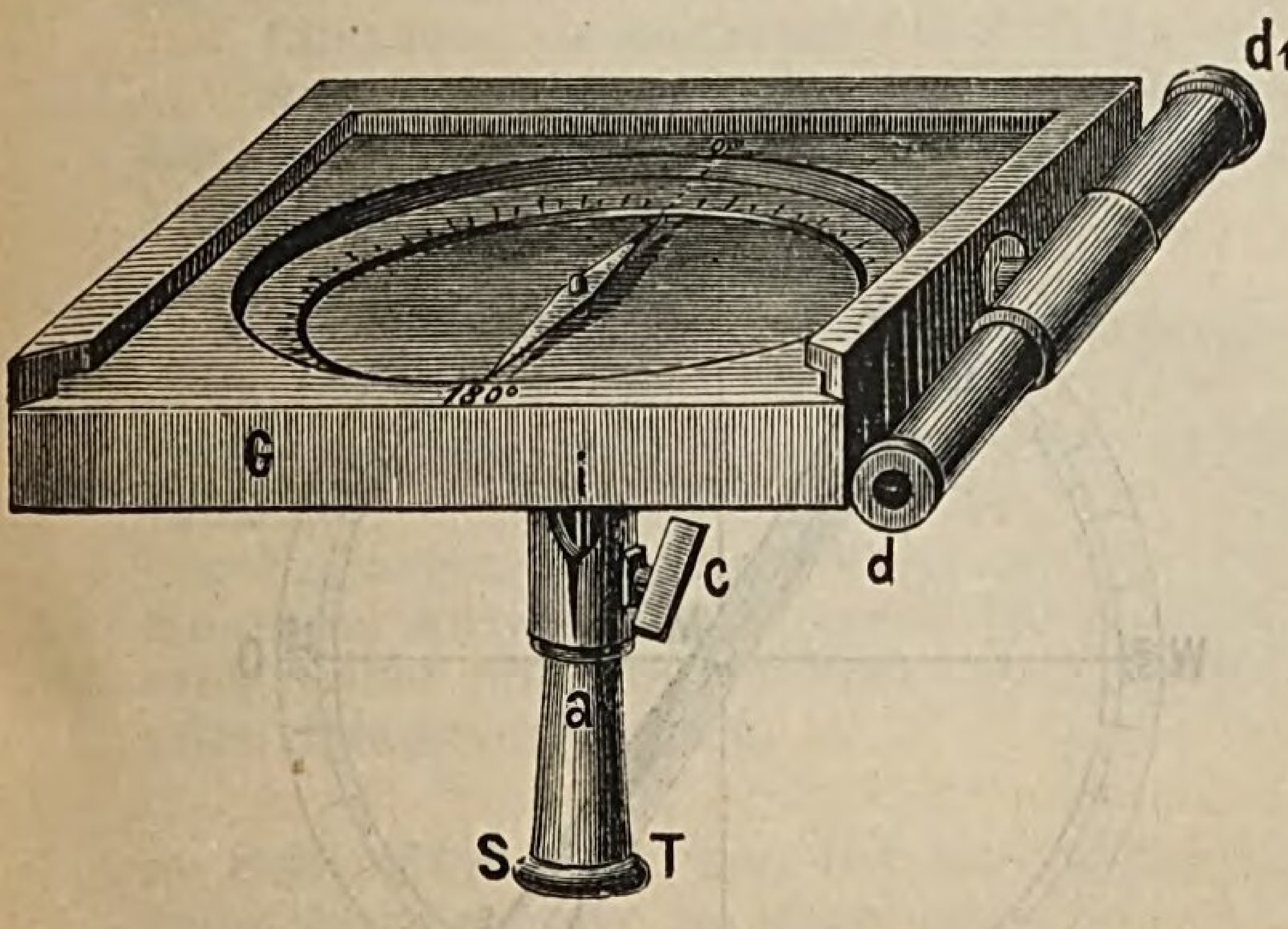
Von den besseren Deklinatorien sei hier noch das *Gambey*sche Deklinatorium erwähnt.

Ausser dem *Gauss*schen Magnetometer verdient besondere Erwähnung *Leysers* transportables Magnetometer und *Lamonts* magnetischer Reisetheodolit. (Siehe die Erkl. 263 und 264.)

Frage 107. Auf welche Weise wird mittels des gewöhnlichen Deklinatoriums (siehe Figur 99) die magnetische Deklination eines Ortes bestimmt?

Antwort. Stellt man das Deklinatorium, siehe Figur 99, welches bereits unter der Bezeichnung „Feldbussole“ in Antwort der Frage 98, Seite 75, in seinen Hauptbestandteilen beschrieben wurde, so auf, dass die Ebene des Gradrings horizontal ist und dass die Nordspitze der Deklinationsnadel gerade auf den Nullpunkt der Teilung zeigt, so ist der Einrichtung des Instruments entsprechend, die optische Axe dd_1 des Fernrohrs mit der Nadel, bezw. mit der Ebene des magnetischen Meridians des Ortes parallel. Bei jeder andern horizontalen Stellung des Instruments, bezw. der Fernrohraxe, zeigt die Nordspitze der Nadel auf einen andern Strich der Gradeinteilung und man kann an dieser Gradeinteilung den Winkel ablesen, welchen die Richtung der Nadel, bezw. welchen die magnetische Meridianebene mit dem Durchmesser 0°—180° (bei neuer Teilung 0°—200°) der Gradeinteilung, bezw. mit der zu diesem

Figur 99.



Erkl. 240. Zur Bestimmung des astronomischen Meridians kann man das unter 2). in der Erkl. 172, Seite 62, angegebene Verfahren anwenden, was hierbei genügen wird. (Siehe Erkl. 244.)

Erkl. 241. Bei der Bestimmung der magnetischen Deklination eines Orts hat man sich noch folgendes zu merken.

In den seltensten Fällen fällt die geometrische Axe der Deklinationsnadel (d. i. die Verbindungslinie der Spitzen der Magnetnadel) mit der magnetischen Axe derselben (d. i. die Verbindungslinie der beiden unbestimmbaren Pole der Nadel) zusammen, infolgedessen erhält man bei der Ablesung nicht den Winkel, welchen die Fernrohraxe mit der magnetischen Axe der D.-Nadel macht, sondern den Winkel, welchen die Fernrohraxe mit der geometrischen Axe der D.-Nadel bildet.

Die bestimmte Deklination ist also noch mit einem Fehler behaftet und muss korrigiert werden, was mittels der sogen. „Methode des Umlegens" geschieht.

Stellt nämlich, siehe Figur 100, ns eine Lage der D.-Nadel dar, und fällt die magnetische Axe der Nadel nicht in die Linie ns (nicht in die geometr. Axe), sondern z. B. in die Linie ab, so ist offenbar der Winkel (Bogen Nn), auf welchen die Nadelspitze n zeigt, um den Bogen na kleiner als der Winkel (Bogen Na), auf welchen die wirkliche magnetische Axe ab zeigt; der an der Spitze n stehende Winkel gibt also einen kleineren Winkel an, als die wirkliche magnetische Deklination ist. Legt man aber die D.-Nadel so um, dass die Fläche derselben, welche vorhin nach unten lag, nach oben zu liegen kommt (siehe Erkl. 242), so nimmt die D.-Nadel die Lage $n_1 s_1$ an und die Spitze n_1 zeigt auf einen Winkel (Bogen Nn_1) der Gradteilung, welcher (da Bogen $an_1 = an$ ist) um dasselbe grösser ist, als er bei der ersten Lage der D.-Nadel zu klein war.

Da nun der Bogen Na (d. i. die wirkliche Deklination) $= \frac{Nn_1 + Nn}{2}$ ist, so erhält man die wirkliche Deklination, indem man das arithmetische Mittel aus den zwei Winkeln nimmt, an welche die D.-Nadel einmal in der Lage ns, ein andermal in der umgedrehten Lage $n_1 s_1$, mit ihrem Endpunkt n zeigt. Dasselbe gilt von den Winkeln, auf welche die Spitze s der D.-Nadel in den beiden Lagen zeigt.

Erkl. 242. Um mittels einer Deklinationsnadel die in der Erkl. 241 beschriebene „Methode des Umlegens" vornehmen zu können, ist sie nicht an ihrem Hütchen befestigt, sondern sie ist nur so aufgelegt, dass man sie abnehmen und umkehren kann.

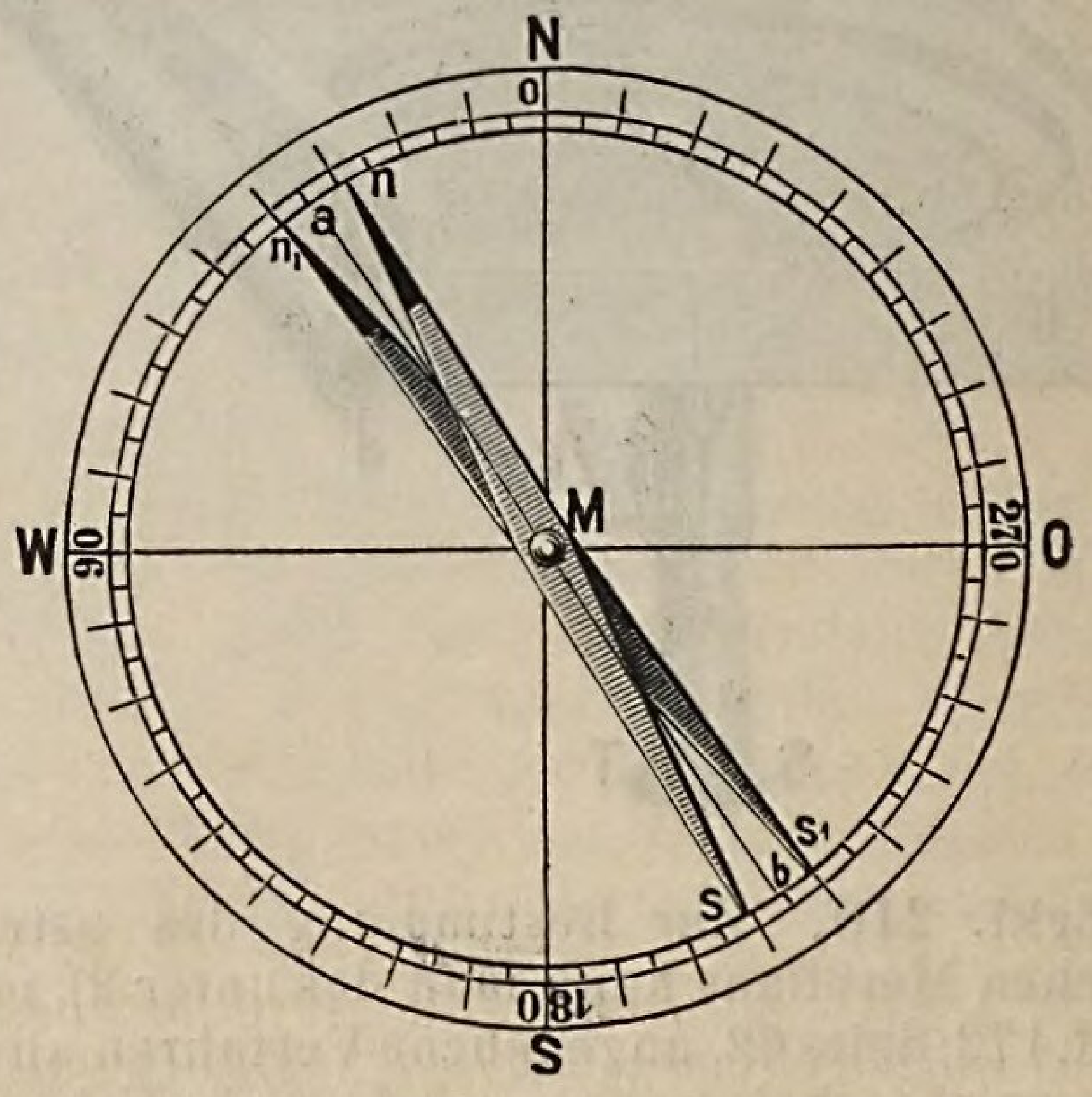
Erkl. 243. Je nachdem die Nordspitze n der Deklinationsnadel, siehe Figur 100, von dem Nullpunkt der Teilung, der stets in der Richtung der Mittagslinie, und zwar nach Norden, liegt (weil der Durchmesser 0°—180° parallel der nach dem astronomischen Meridian gerichteten Fernrohraxe ist), nach links, also nach Westen, oder nach rechts, also nach Osten abweicht, heisst die Deklination, bezw. „westl. Deklination" oder „östl. Deklination".

Erkl. 244. Dass mittels der Anwendung des in Figur 99 dargestellten Deklinatoriums Durchmesser parallelen Axe dd_1 des Fernrohrs bildet.

Will man also mittels dieses Instruments die magnetische Deklination eines Ortes bestimmen, so hat man nur das mit seinem Gradring horizontal aufgestellte Instrument so lange um seine vertikale Axe zu drehen, bis die Axe des Fernrohrs in die Ebene des vorher bestimmten astronomischen Orts-Meridians zu liegen kommt (siehe Erkl. 240) und dann an dem Punkte der Gradeinteilung, auf welche die Nordspitze der Nadel zeigt, den daselbst verzeichneten Winkel abzulesen. Dies ist die gesuchte Deklination, nämlich der Winkel, welchen die Richtung der magnetischen Meridianebene (d. i. die Richtung der magnetischen Axe der Nadel) mit der Richtung der astronomischen Meridianebene (d. i. die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs, bezw. die hierzu parallele Richtung des Durchmessers 0°—180° der Gradeinteilung) bildet.

Auch an dem Punkte der Gradeinteilung, auf welchen die Südspitze der Nadel zeigt, kann man die Deklination ablesen, nur muss man von dem daselbst abgelesenen Winkel 180° (bezw. 200° bei neuer Teilung) subtrahieren.

Figur 100.



keine besonders genaue Resultate erzielt werden können, ist leicht begreiflich, indem z. B. die Genauigkeit der Winkelablesung unter anderm vor allem von der Grösse des in Grade eingeteilten Kreisrings, und hiervon wieder die Länge der Deklinationsnadel abhängig ist; ist letztere aber zu gross, so wird sie zu schwer und die Reibung auf die Stahlspitze zu stark. Ferner wird bei Anwendung eines so primitiven Instruments meist auch der astronomische Meridian (siehe Erkl. 240) in primitiver Weise bestimmt, denn hätte man zur Bestimmung des astronomischen Meridians ein vollkommeneres Instrument, wie z. B. das durch Figur 96 dargestellte, so würde man jedenfalls auch ein feineres Instrument (wie solche durch die Figuren 109 und 112 dargestellt sind) zur Bestimmung der Deklination selbst zur Verwendung haben, vorausgesetzt allerdings, dass nicht schon der astronomische Meridian auf andre Weise bestimmt und festgelegt wurde.

Infolgedessen wurden mit dem durch die Figur 99 dargestellten Deklinatorium alle möglichen Verbesserungen vorgenommen, bis es endlich *Gauss* gelang, durch die Konstruktion seines Magnetometers, in Verbindung mit dem durch Figur 96 dargestellten Theodolit, die magnetische Deklination mit astronomischer Genauigkeit bestimmen zu können. (Siehe die Antworten der folgenden Fragen 108—110.)

Frage 108. Worin besteht die Einrichtung eines *Gauss*schen Magnetometers?

Erkl. 245. *Karl Friedrich Gauss*, Mathematiker und Astronom, geb. 30. April 1777 zu Braunschweig, veröffentlichte in seinem Werke: Intensitas vis magneticae terrestris in measuram absolutam revocata. Gött. 1832—37. das von ihm erfundene Magnetometer mit Spiegelablesung.

Erkl. 246. *Johann Christian Poggendorff*, bedeutender Physiker, geb. 29. Dez. 1796 in Hamburg, beschäftigte sich besonders mit Galvanismus; unter anderm konstruierte er die bei den Magnetometern angewandte und in nebenstehender Antwort beschriebene Spiegelvorrichtung, daher rührt die Bezeichnung *Poggendorff*sche Spiegelvorrichtung.

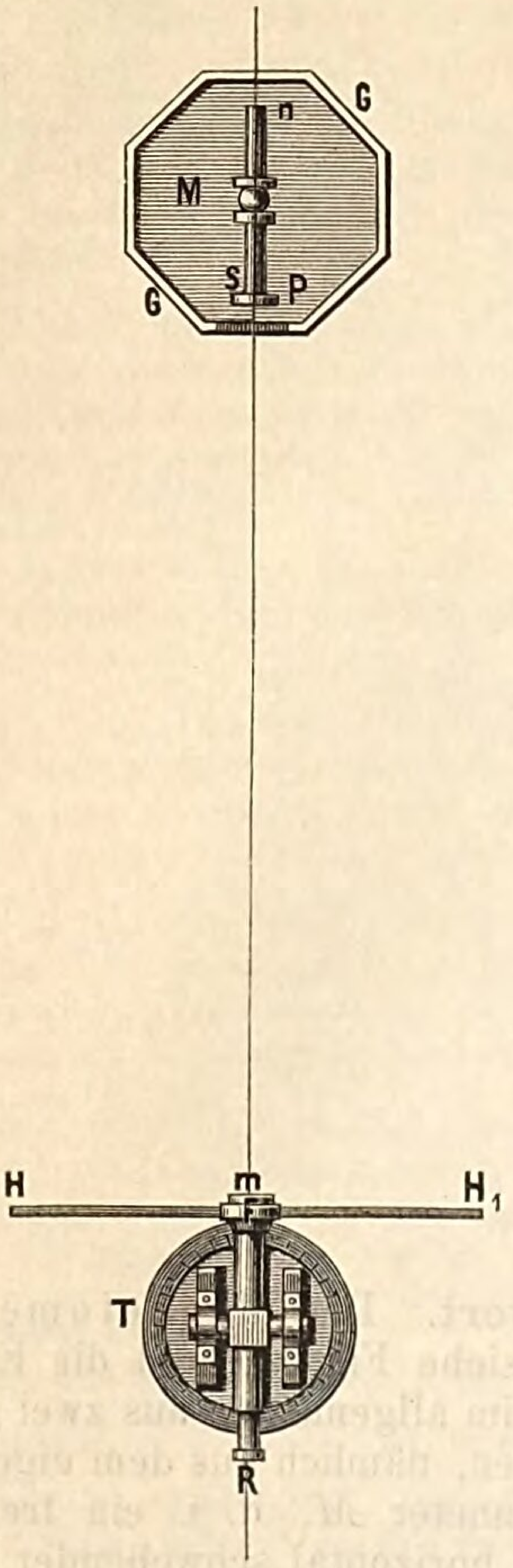
Erkl. 247. Die Figur 101 stellt das *Gauss*sche Magnetometer in seiner horizontalen Projektion, also von oben gesehen, dar.

Das eigentliche Magnetometer M ist in seinen Details aus den Figuren 102—104 erkenntlich. Der Theodolit T ist bereits in Figur 96, Seite 81 dargestellt und daselbst in seinen Details beschrieben; in der Figur 101 ist er nur, wie das Magnetometer M, in seiner horizontalen Projektion angedeutet.

Antwort. Das Magnetometer von *Gauss*, siehe Fig. 101 und die Erkl. 245, besteht im allgemeinen aus zwei getrennten Teilen, nämlich aus dem eigentlichen Magnetometer M, d. i. ein frei aufgehängter horizontal schwebender Magnetstab mit der sogenannten *Poggendorff*schen Spiegelvorrichtung (siehe Erkl. 246) und aus einem schon in Antwort der Frage 104, Seite 81, näher beschriebenen Theodolit T, welcher zur Beobachtung jenes freischwebenden Magnetstabs dient (siehe Erkl. 247).

Der eine Hauptteil M in Figur 101 besteht, wie aus den Detailfiguren 102 und 103 ersichtlich ist, aus der messingnen mit dem Bügel B versehenen Hülse A, welche mittels eines Stahldrahtes ab oder eines Bündels ungedrehter Coconfäden an der Decke des Zimmers, das für derartige feinere Beobachtungen ausschliesslich reserviert ist, aufgehängt wird und in welche ein Magnetstab ns von 2,5—10 kg Gewicht (siehe Erkl. 248) eingeschoben werden kann.

Figur 101.



Erkl. 248. Die von *Gauss* angewandten schweren Magnetstäbe sind infolge ihrer Schwere weniger dem Einfluss der Luftströmungen ausgesetzt, bedürfen deshalb des in seinem Querschnitt in Figur 101 dargestellten Gehäuses *G* nicht. Solche schwere Stäbe leiden aber sehr an der Torsionselasticität der Aufhängefäden, da letztere für solche Stäbe ziemlich dick sein müssen. Aus diesem Grunde benutzt man auch lieber (wie es *Lamont* bei seinem magnetischen Reisetheodolit, siehe Erkl. 264, that) leichte Stäbe und umgibt sie, wie es Figur 101 zeigt, mit einem Gehäuse *G*, um sie vor störenden Luftströmungen zu schützen.

Erkl. 249. Soll die magnetische Axe des Magnetstabes *ns* genau den magnetischen Meridian angeben, so darf das infolge der richtenden Kraft des Erdmagnetismus stattfindende Bestreben des Magnetstabes, eine bestimmte Gleichgewichtslage anzunehmen, nicht durch eine etwaige Torsion (Drehung, Verdrehung) des Aufhängefadens gehindert werden. Der

Die Befestigung des Aufhänge- oder sogen. Suspensionsfadens *ab* an der Decke geschieht derart, dass man ihn, wie die Figur 102 in der Vorderansicht und die Figur 103 in der Seitenansicht zeigt, mittels der Schraube *c*, je nach Bedürfnis, verkürzen und verlängern, somit den Magnetstab *ns* heben und senken kann.

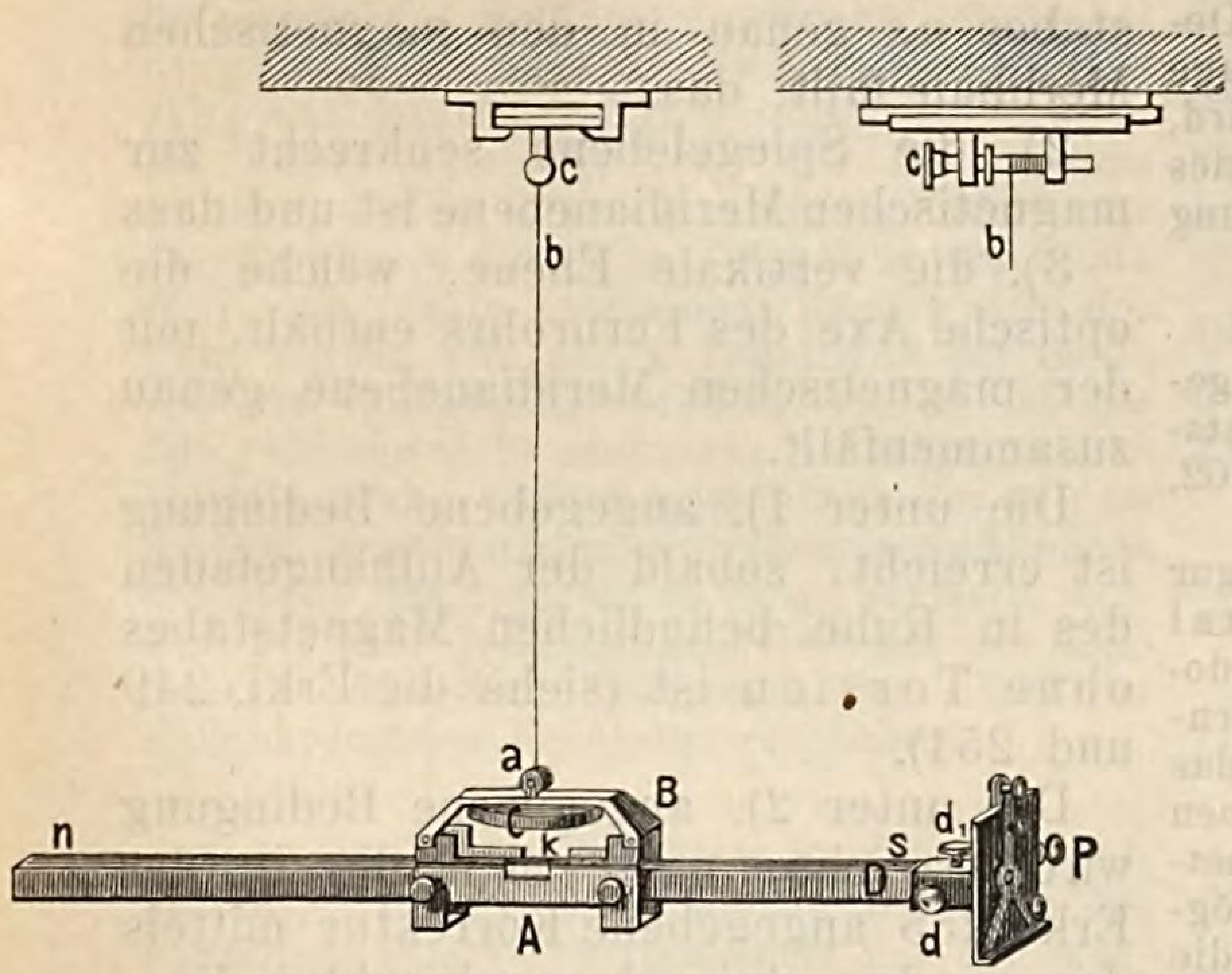
Die Befestigung des Suspensionsfadens *ab* an dem Bügel *B* findet, wie die Figur 102 zeigt, im Mittelpunkt der Kreisscheibe *C* statt, welche den Bügel *B* trägt und gedreht werden kann, ohne dass sich hierbei der Magnetstab *ns* mitdreht; infolge dieser Befestigungsweise kann man den Aufhängefaden *ab* drehen (tordieren). (Siehe Erkl. 249.)

Die *Poggendorff*'sche Spiegelvorrichtung *P* wird nun entweder, wie die Figur 102 zeigt, an einem Ende des Stabes angebracht, indem der Magnetstab *ns* in die Hülse *D* gesteckt und mittels den Schräubchen *d* und d_1 befestigt wird oder sie wird, wie die Figur 104 zeigt, an dem Träger des Magnetstabes *ns* selbst befestigt. Im ersteren Falle, welcher durch die Figur 102 dargestellt ist, sind an dem Spiegel kleine Schräubchen angebracht, durch welche derselbe gehalten und nach allen Richtungen so verstellt werden kann, dass die Spiegelebene möglichst senkrecht zur magnetischen Axe des Magnetstabes wird (siehe die Erkl. 250 u. 255); im letztern Falle, welcher durch die Figur 104 dargestellt ist, ist der Spiegel fest, so dass sich nicht seine Ebene drehen lässt, dann ist aber meistens das Magnetometer, wie diese Figur zeigt, mit den doppelten Aufhängehaken *J* und J_1 versehen (deren Zweck sich aus Antwort der Frage 109 ergibt).

Um ferner den somit aufgehängten Magnetstab (siehe Erkl. 248) vor Luftströmungen zu schützen, wird derselbe oft, wie die Figur 101 im Querschnitt zeigt, mit einem sechs- oder achteckigen Gehäuse *G* von Holz oder Pappe umgeben, welches nur oben eine Oeffnung hat, um den Aufhängefaden durchzulassen. Ferner ist an der Stelle einer Seitenwand, welche dem Spiegel gegenübersteht, eine geschliffene Glasplatte

Aufhängefaden muss also, wie man zu sagen pflegt, ohne Torsion sein. Zur Regulierung des Aufhängefadens, dass er ohne Torsion ist, dient die drehbare Kreisscheibe *C* (siehe Figur 102 und die Erkl. 254).

Figur 102. Figur 103.



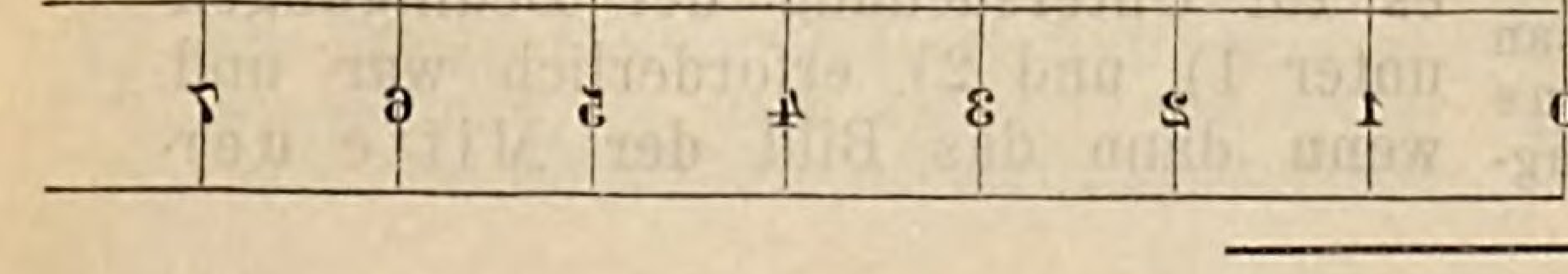
Erkl. 250. Den Spiegel *P* in Figur 102 so zu stellen, dass die Ebene desselben genau senkrecht zur magnetischen Axe des Magnetstabs *ns* wird, ist mit absoluter Genauigkeit nicht zu erreichen möglich, da man die magnetische Axe selbst nicht kennt. (Siehe deshalb die Erkl. 255.)

Erkl. 251. Die Figur 105 stellt einen Teil der an dem Stativ des Theodolits befestigten Skala HH_1, siehe Figur 101, in natürlicher Grösse dar.

Da man mittels eines astronomischen Fernrohrs, wie es bei mathematischen Instrumenten ausschliesslich in Anwendung kommt, alles verkehrt sieht, so müssen auch die Zahlen, welche sich auf jener Skala befinden (da sie, wie in folgender Antwort gezeigt wird, mittels des Fernrohrs abgelesen werden), verkehrt geschrieben sein, wie es Figur 105 zeigt.

Erkl. 252. Aehnlich wie man bei dem „Diopter", siehe Erkl. 215, Seite 77, Objektiv und Okular unterscheidet, geschieht dies auch bei dem Fernrohr. Das Ende (*O*, siehe Fig. 96) eines Fernrohrs, welches den Punkt der Visierlinie enthält, der dem Auge am nächsten ist, heisst „Okular"; das andre Ende (*N*, siehe Figur 96), welches dem einzuvisierenden Gegenstand am nächsten ist, heisst „Objektiv".

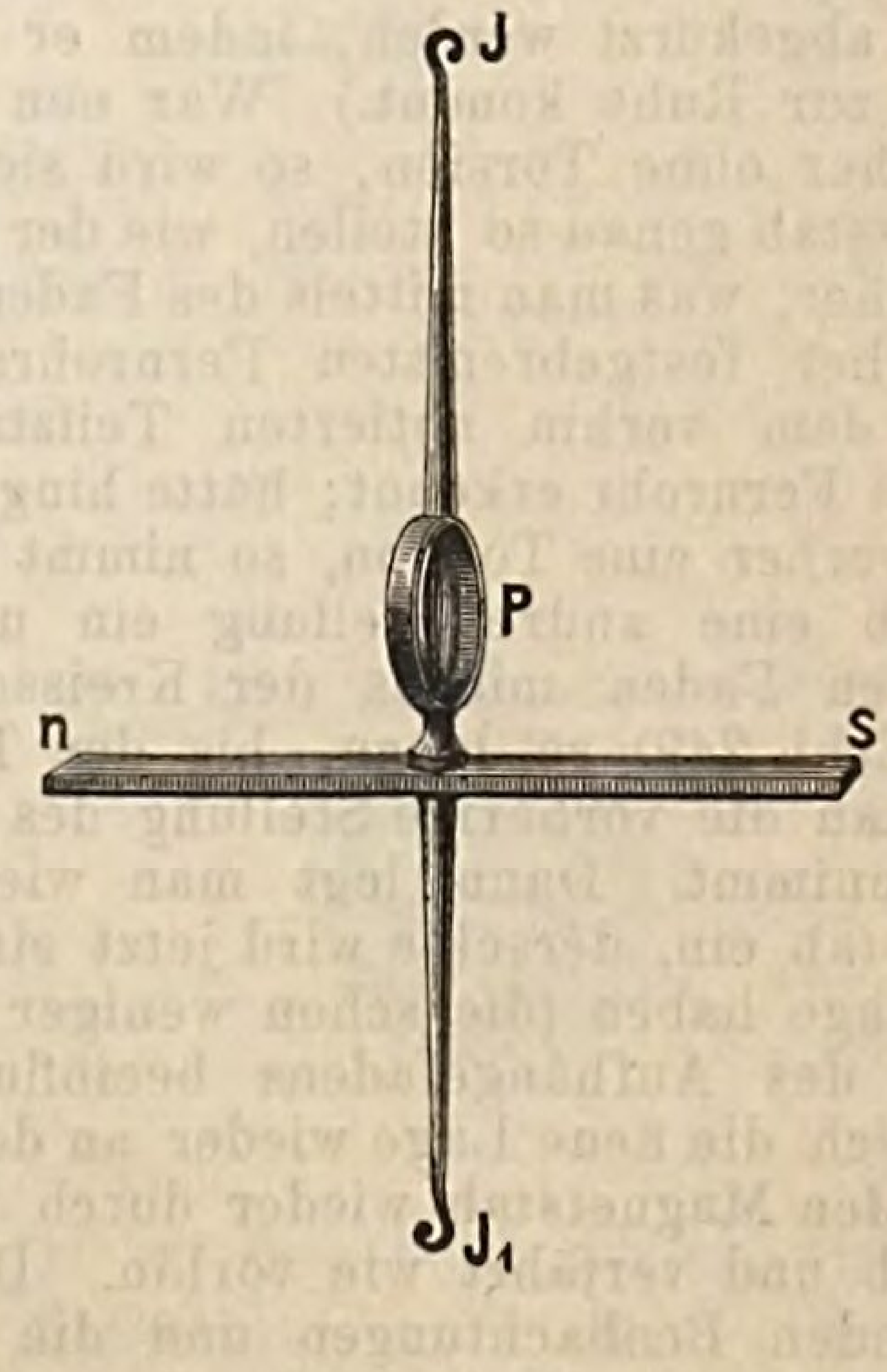
Figur 105.



eingesetzt, um durch dieselbe nach dem Spiegel sehen zu können.

Der andre Hauptteil des Magnetometers, siehe Figur 101, nämlich der Theodolit *T*, besteht im allgemeinen aus einem Theodolit wie ihn die Figur 96 darstellt und wie er bereits in Antwort der Frage 104, Seite 81, beschrieben wurde, nur ist noch am Stativ desselben eine 1 m lange, in Millimeter eingeteilte Skala HH_1, siehe Figur 101 und die Erkl. 251, so befestigt, dass sie sich mit Horizontalstellung des Theodolits ebenfalls horizontal stellt und in dem Spiegel *P* des Magnetometers *M* gesehen werden kann. Die Teilung dieser Skala ist so, dass sich der Nullpunkt derselben an einem Ende des Massstabes befindet und dass, wenn das Fernrohr so gerichtet ist, dass seine optische Axe senkrecht zur Ebene der Skala steht, der Faden eines Senkels, welchen man an einem um das Objektiv des Fernrohrs (siehe Erkl. 252) gelegten Ring befestigen kann und in der vertikalen Ebene der Fernrohraxe liegt, genau den Mittelpunkt jener Skala deckt.

Figur 104.



Frage 109. Wie muss das *Gauss*sche Magnetometer, behufs später zu machenden Beobachtungen, aufgestellt werden?

Erkl. 253. Das Magnetometer wird nicht allein zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Orts (siehe Antwort der Frage 110), sondern auch, wie später gezeigt wird, zur Bestimmung der Schwingungsdauer eines Magnetstabes, zur Bestimmung der Veränderung der Deklination etc. verwandt.

Erkl. 254. Zur Regulierung des Aufhängefadens, damit derselbe bei der Gleichgewichtslage des Magnetstabs ns, siehe Figur 102, ohne Torsion ist, dient folgendes:

Man stellt den Theodolit T, siehe Figur 101, dem Spiegel P gegenüber horizontal so auf, dass man die am Stativ des Theodolits befindliche Skala HH_1 mittels des Fernrohrs in dem Spiegel P sieht und dass das Fadenkreuz des Fernrohrs genau auf einen Endpunkt der magnetischen Axe des Magnetstabs gerichtet ist (bezw. dass soviel als möglich die optische Axe des Fernrohrs und die magnetische Axe des Magnetstabs in eine Vertikalebene zu liegen kommen) und merkt sich den Teilstrich der Skala, welcher im Fadenkreuz des Fernrohrs erscheint.

Dann ersetzt man den Magnetstab ns durch einen genau ebenso eingerichteten sogenannten Torsionsstab, d. i. ein Messingstab, in welchem ein kleines Magnetstäbchen eingelegt ist. (Dieses Magnetstäbchen hat nur den Zweck, dass die Schwingungen, welche der Messingstab infolge der Torsionselasticität des Fadens macht, abgekürzt werden, indem er dadurch rascher zur Ruhe kommt.) War nun der Faden vorher ohne Torsion, so wird sich dieser Torsionsstab genau so stellen, wie der Magnetstab vorher, was man mittels des Fadenkreuzes des vorher festgebremsten Fernrohrs, bezw. mittels dem vorhin notierten Teilstrich der Skala im Fernrohr erkennt; hatte hingegen der Faden vorher eine Torsion, so nimmt der Torsionsstab eine andre Stellung ein und man dreht den Faden mittels der Kreisscheibe C (siehe Erkl. 249) so lange, bis der Torsionsstab genau die vorherige Stellung des Magnetstabs annimmt. Dann legt man wieder den Magnetstab ein, derselbe wird jetzt eine etwas andre Lage haben (die schon weniger von der Torsion des Aufhängefadens beeinflusst ist), merkt sich die neue Lage wieder an der Skala, ersetzt den Magnetstab wieder durch den Torsionsstab und verfährt wie vorhin. Diese abwechselnden Beobachtungen und die Korrekturen mittels der Kreisscheibe C setzt man so lange fort, bis die Lage des Magnetstabs und des Torsionsstabs genau dieselbe ist. Hat man dies erreicht, so ist der Suspensionsfaden ohne Torsion und die magnetische Axe des Mag-

Antwort. Das Magnetometer, siehe Figur 101, muss zum Zwecke gewisser anzustellender Beobachtungen (siehe Erkl. 253) so aufgestellt werden, dass:

1). die magnetische Axe des Magnetstabes ns genau in den magnetischen Meridian fällt, dass

2). die Spiegelebene senkrecht zur magnetischen Meridianebene ist und dass

3). die vertikale Ebene, welche die optische Axe des Fernrohrs enthält, mit der magnetischen Meridianebene genau zusammenfällt.

Die unter 1). angegebene Bedingung ist erreicht, sobald der Aufhängefaden des in Ruhe befindlichen Magnetstabes ohne Torsion ist (siehe die Erkl. 249 und 254).

Die unter 2). angegebene Bedingung wird erreicht, wenn man die in der Erkl. 255 angegebene Korrektur mittels den an dem Spiegel angebrachten Korrektionsschräubchen vornimmt. Da sich jedoch mittels dieser Korrektionsschräubchen die unter 2). angegebene Bedingung mit absoluter Genauigkeit kaum erreichen lässt (siehe Erkl. 250), und da ausserdem diese Korrektur doch auf der „Methode des Umlegens“ beruht, so werden beim Gebrauch des Magnetometers gewöhnlich zwei Beobachtungen gemacht; die zweite mit umgelegtem Magnetstab, nämlich so, dass die bei der ersten Beobachtung oben liegende Fläche des Magnetstabes, bei der zweiten Beobachtung, mitsamt dem Spiegel, nach unten zu liegen kommt. Aus diesem Grunde sind auch meistens die Spiegel, wie in der Figur 104, fest mit deren Aufhängevorrichtung verbunden und letztere ausserdem, wie in Figur 104, mit 2 Suspensionshaken versehen.

Die unter 3). angegebene Bedingung endlich, nämlich dass die optische Axe des Fernrohrs und die magnetische Axe des Magnetstabes in eine Vertikalebene zu liegen kommen, ist erfüllt, wenn das ganze Instrument so aufgestellt ist, wie es zur Untersuchung der Bedingungen unter 1). und 2). erforderlich war und wenn dann das Bild der Mitte der

netstabs ns fällt genau in den magnetischen Meridian, bezw. gibt genau die Ebene des magnetischen Meridians an.

Erkl. 255. Hat man, wie in der Erkl. 254 gezeigt ist, den Suspensionsfaden so reguliert, dass er ohne Torsion ist, so ist die unter 2). angegebene Bedingung erreicht, sobald bei umgedrehter Lage des Magnetstabes ns mitsamt dem daran befestigten Spiegel (d. h. wenn die bisher ebene Fläche des Magnetstabs nach unten zu liegen kommt) im Fadenkreuz des Fernrohrs dieselben Teilstriche der Skala HH_1 wie vorhin erscheinen; ist dies nicht der Fall, werden also andre Teilstriche der Skala von der Spiegelebene reflektiert, so ist die Spiegelebene nicht senkrecht zur magnetischen Meridianebene und es muss mittels der an dem Spiegel angebrachten Korrektionsschräubchen die Ebene des Spiegels so lange verstellt werden, bis nach jedesmaligem Umlegen des Magnetstabs dieselben Teilstriche der Skala im Fadenkreuz des Fernrohrs erscheinen.

Erkl. 256. Ist das Magnetometer so aufgestellt, dass die durch die optische Axe des Fernrohrs gelegte Vertikalebene mit der magnetischen Meridianebene ganz genau zusammenfällt, so müssen, wie die Figur 101 zeigt, die Axen ns und RF in einer und derselben zur Skala HH_1 vertikalen Ebene liegen; ferner muss die Ebene des Spiegels (welche senkrecht zur Axe ns sein soll) parallel der Skala HH_1 sein.

Erkl. 257. Fällt ein Lichtstrahl xz, siehe Figur 106, auf die Ebene eines Spiegels P und man denkt sich in z auf der Spiegelebene ein Perpendikel zy (Einfallslot genannt) errichtet, so heisst der Winkel xzy „Einfallswinkel“. Der Winkel, welchen der Perpendikel zy mit dem in z reflektierten Lichtstrahl zm bildet, heisst „Reflexionswinkel“.

Ein optisches Gesetz heisst: „Der Reflexionswinkel ist jederzeit dem Einfallswinkel gleich“ (siehe Kleyers Lehrbuch der Optik).

Erkl. 258. Aus dem bei m rechtwinkligen Dreieck zmy, siehe Figur 106, ergibt sich die Relation:

$$tg\,\alpha = \frac{my}{mz}$$

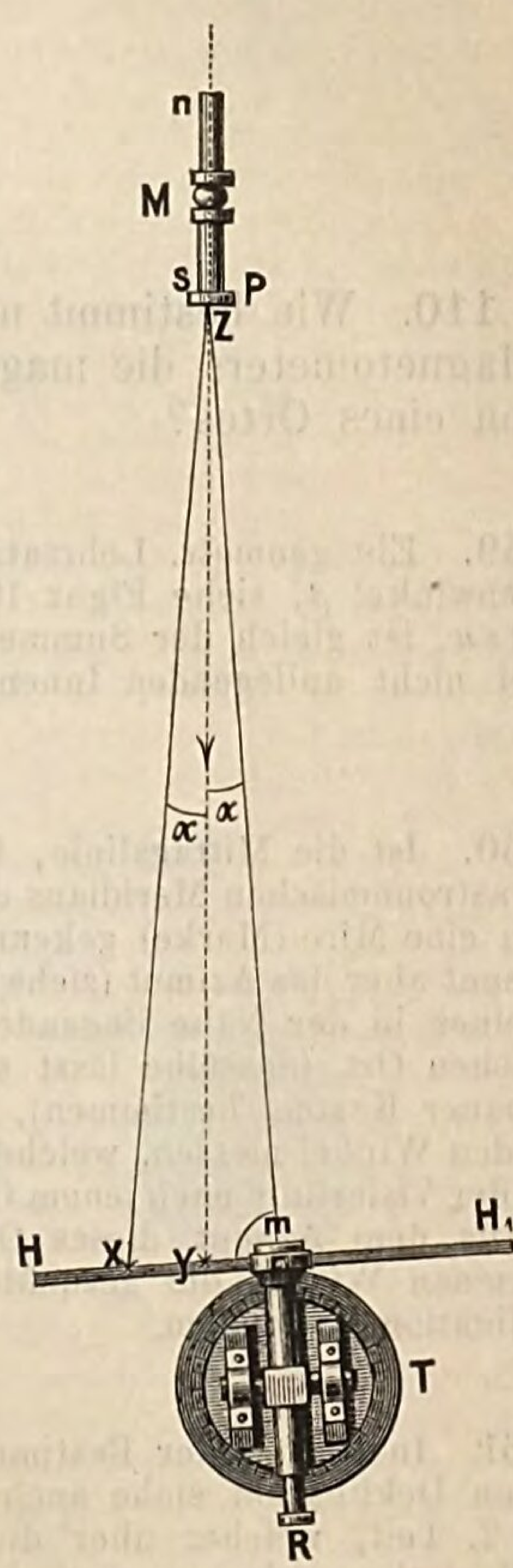
Da nun $my = yx$, also $my = \frac{mx}{2}$ gesetzt werden kann, so erhält man hieraus:

$$1). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad tg\,\alpha = \frac{mx}{2 . mz}$$

Da man ferner die Strecke mx, die noch so klein sein kann, mittels des Fernrohrs in dem Spiegel ablesen und die Entfernung mz messen kann, so lässt sich aus dieser Gleichung, bei sorgfältiger Beobachtung und Mes-

Skala, bezw. wenn das Bild des an dem Objektiv des Fernrohrs hängenden Fadens, welcher die Mitte der Skala deckt, genau in den vertikalen Faden des Fadenkreuzes zu liegen kommt (siehe Erkl. 256). Ist dies nicht der Fall, was meistens stattfinden wird, da der Theodolit zunächst nur so aufgestellt wird, dass ungefähr jener Fall eintritt, so fallen auch die beiden in Rede stehenden Axen nicht in eine Vertikalebene, denn: wenn am Fadenkreuz des nach dem Spiegel P gerichteten Fernrohrs FR, siehe Figur 106, statt

Figur 106.



der Mitte m der Skala HH_1 ein andrer Punkt derselben, z. B. der Punkt x dieser Skala ercheint, so muss nach dem in der Erkl. 257 angeführten optischen Gesetze die auf der Ebene des Spiegels P errichtete Senkrechte zy den Winkel

sung der Stücke mx und mz, die Grösse der Abweichung α des magnetischen Meridians von der durch die optische Axe des Fernrohrs gelegten Vertikalebene bis auf Sekunden genau berechnen.

Da hierbei angenommen wird, dass die Spiegelebene senkrecht zur magnetischen Axe des Magnetstabes ist (und diese Bedingung unter Umständen, wie sich aus nebenstehender Antwort ergibt, noch nicht erfüllt sein kann), so bestimmt man den Winkel α noch auf eine zweite Art, indem man die in nebenstehender Antwort zur Erfüllung der Bedingung 2). angeführte „Methode der Umlegung" anwendet und aus beiden Winkeln das arithmetitche Mittel nimmt. Hierdurch werden etwaige Fehler kompensiert.

xzm, welchen der Sehstrahl mz mit der Richtung des von dem Spiegel P reflektierten Lichtstrahls zx bildet, halbieren; und da diese Halbierungslinie zy senkrecht zur Spiegelebene P ist, so muss sie in die Richtung der magnetischen Axe ns fallen. Die kleinste Abweichung, welche die durch ns, bezw. durch ny bestimmte magnetische Meridianebene mit der durch die optische Axe des Fernrohrs FR, bezw. durch mz gelegte Vertikalebene bildet, lässt sich somit durch jene Skala erkennen und auch messen (siehe Erkl. 258), wonach die Stellung des Theodolits entsprechend verändert werden kann, was bei dem Gebrauche jedoch nicht nötig ist, indem es schon genügt, die Grösse jener Abweichung zu wissen. (Siehe Antw. der Frage 110.)

Frage 110. Wie bestimmt man mittels des Magnetometers die magnetische Deklination eines Ortes?

Antwort. Zur Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes mittels des Magnetometers verfährt man wie folgt:

Zuerst stellt man das Magnetometer, siehe Figur 107, so auf, wie es in voriger Antwort angegeben wurde und berechnet mittels der in der Erkl. 258 aufgestellten Relation:

$$tg\,\alpha = \frac{mx}{2 \, . \, mz}$$

den Winkel α, dessen Wert um so genauer wird, je genauer die Bestimmungsstücke mx und mz abgelesen, bezw. gemessen wurden.

Dann bestimmt man mittels des Theodolits T den Winkel β, welchen die Linie zA mit der nach Antwort der Frage 105, Seite 83, bestimmten Mittagslinie (astronomischen Meridianebene) SN bildet.

Aus den somit bekannten Winkeln α und β findet man nunmehr die magnetische Deklination φ, d. i. der Winkel, welchen die magnetische Axe ns (nw) mit der Mittagslinie SN bildet, mittels der Relation:

$$\beta = \varphi + \alpha \quad \text{(siehe Erkl. 289)}$$

durch die Gleichung:

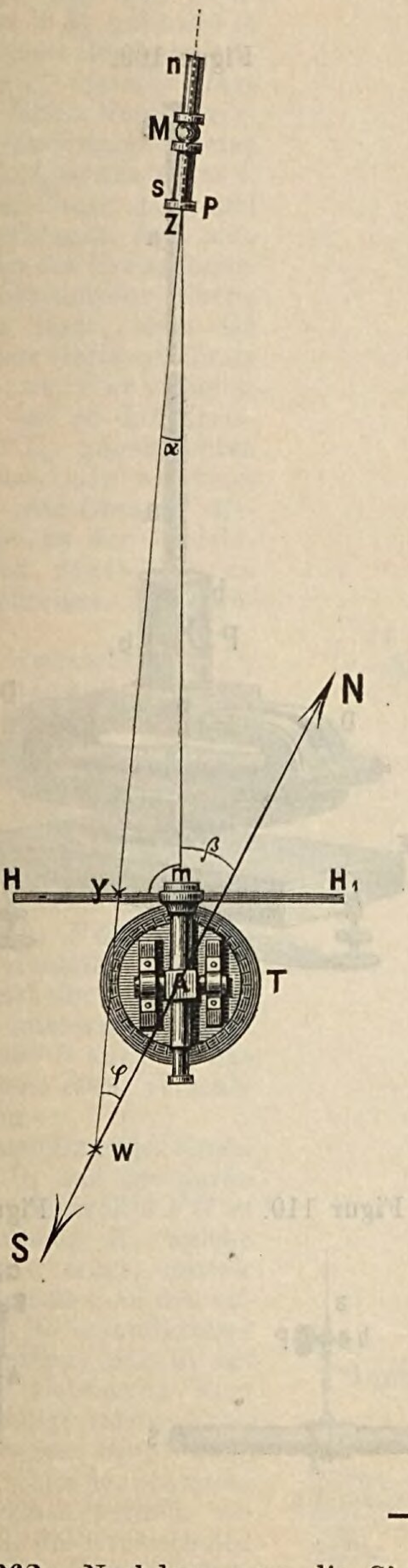
$$\varphi = \beta - \alpha$$

Erkl. 259. Ein geometr. Lehrsatz, heisst: „Der Aussenwinkel β, siehe Figur 107, eines Dreiecks Azw, ist gleich der Summe der diesem Winkel nicht anliegenden Innenwinkel α und φ."

Erkl. 260. Ist die Mittagslinie, bezw. die Ebene des astronomischen Meridians des Ortes, nicht durch eine Mire (Marke) gekennzeichnet, und man kennt aber das Azimut (siehe Erkl. 221, Seite 78) eines in der Nähe liegenden andern Ortes für jenen Ort (dasselbe lässt sich auch mittels genauer Karten bestimmen), so kann man auch den Winkel messen, welchen die Linie Az mit der Visierlinie nach jenem Ort bildet, und dann aus dem Azimut dieses Ortes und dem gemessenen Winkel die gesuchte magnetische Deklination bestimmen.

Erkl. 261. In Betreff der Bestimmung der magnetischen Deklination siehe auch den Abschnitt im 2. Teil, welcher über die Bestimmung der Variationen der magnetischen Deklination handelt.

Figur 107.

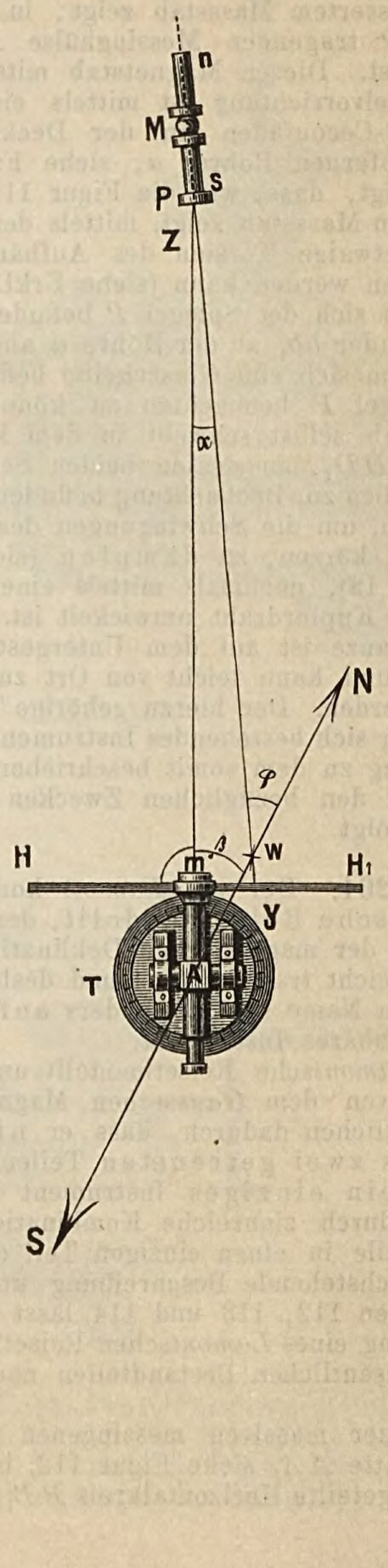


vorausgesetzt, dass die Lage des astronomischen Meridians *NS* gegen die Lage des magnetischen Meridians *ns* die in der Figur 107 angedeutete ist, ist hingegen die Lage dieser beiden Ebenen, wie z. B. die Figur 108 zeigt, so erhält man φ aus der Relation:

$$\varphi = \alpha + \beta.$$

(Siehe die Erkl. 259—261.)

Figur 108.



Erkl. 262. Nachdem man die Sicherheit und Genauigkeit zu schätzen wusste, mit welcher sich mittels des *Gauss*schen Magnetometers die feinsten Beobachtungen anstellen liessen, suchte man den Uebelständen, welche das *Gauss*sche Magnetometer noch hatte und

unter welchen besonders der war, dass derselbe sich nicht für den Transport eignete, abzuhelfen. Von den vielen infolgedessen verbesserten Instrumenten seien hier erwähnt und noch kurz beschrieben:

1). das von *Leyser* in Leipzig hergestellte transportable Magnetometer (siehe Erkl. 263) und

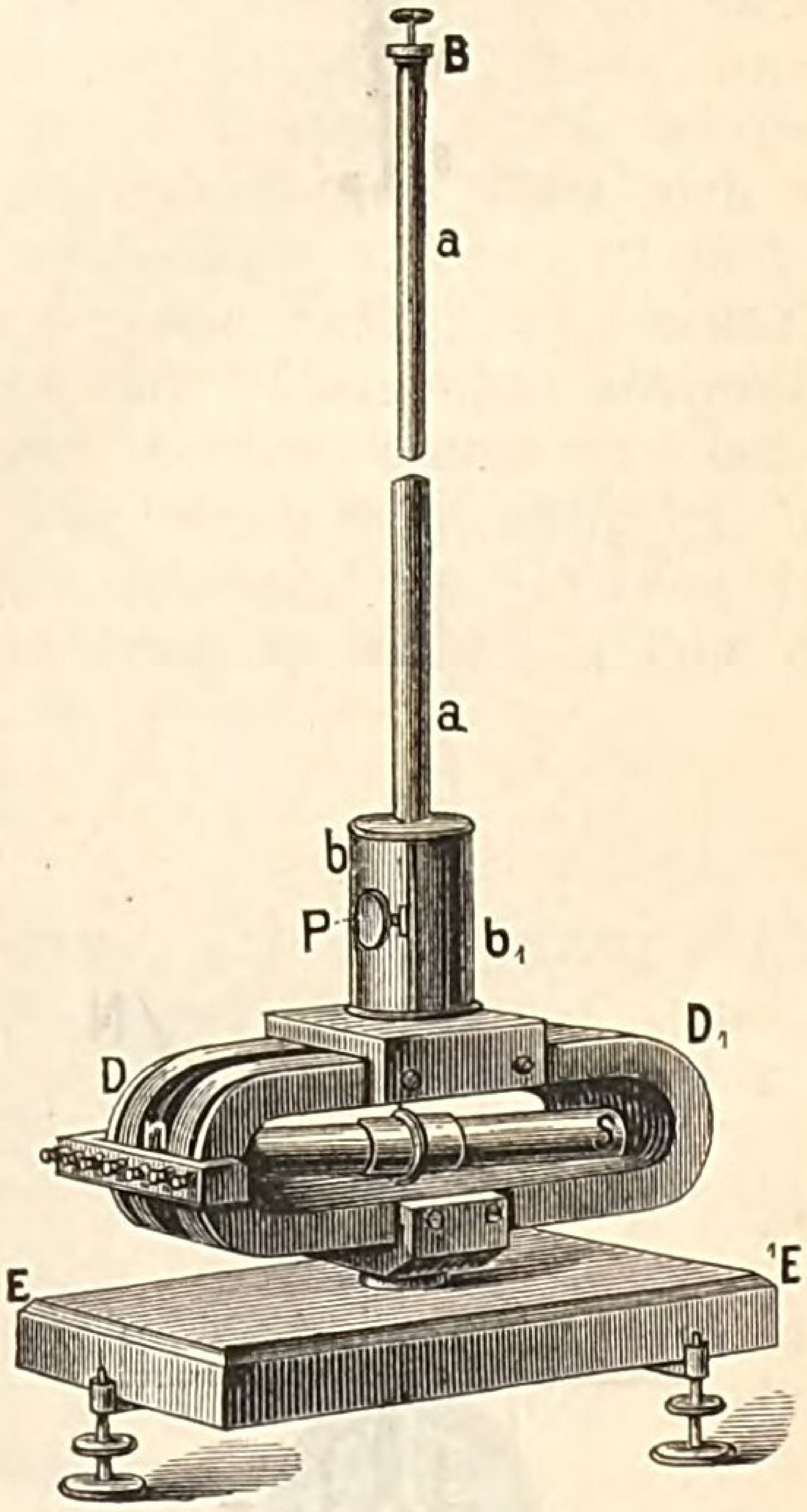
2). der von *Lamont* konstruierte magnetische Reisetheodolit (siehe Erkl. 264).

Erkl. 263. Das von *Leyser* konstruierte transportable Magnetometer besteht, siehe Figur 109, aus einem 18 cm langen Magnetstab *n s*, welcher, wie die Figur 110 in vergrössertem Massstab zeigt, in der den Spiegel *P* tragenden Messinghülse *A* eingeschoben ist. Dieser Magnetstab mitsamt seiner Spiegelvorrichtung ist mittels eines Bündels von Coconfäden an der Deckplatte *B* eines kupfernen Rohres *a*, siehe Figur 109, so befestigt, dass, wie die Figur 111 in vergrössertem Massstab zeigt, mittels der Scheibe *C* eine etwaige Torsion des Aufhängefadens aufgehoben werden kann (siehe Erkl. 254).

Da, wo sich der Spiegel *P* befindet, ist ein Blechcylinder bb_1 an der Röhre *a* angebracht, in welchem sich eine Glasscheibe befindet, um den Spiegel *P* beobachten zu können. Der Magnetstab selbst schwebt in dem kupfernen Gehäuse DD_1, an dessen beiden Seiten sich Glasscheiben zur Beobachtung befinden und das ausserdem, um die Schwingungen des Magnetstabes zu kürzen, zu dämpfen (siehe Erkl. 66, Seite 19), nochmals mittels einer dicken Lage von Kupferdraht umwickelt ist.

Das Ganze ist auf dem Untergestell EE_1 befestigt und kann leicht von Ort zu Ort gebracht werden. Der hierzu gehörige Theodolit ist ein für sich bestehendes Instrument, dessen Aufstellung zu dem somit beschriebenen Magnetometer den bezüglichen Zwecken entsprechend erfolgt.

Figur 109.

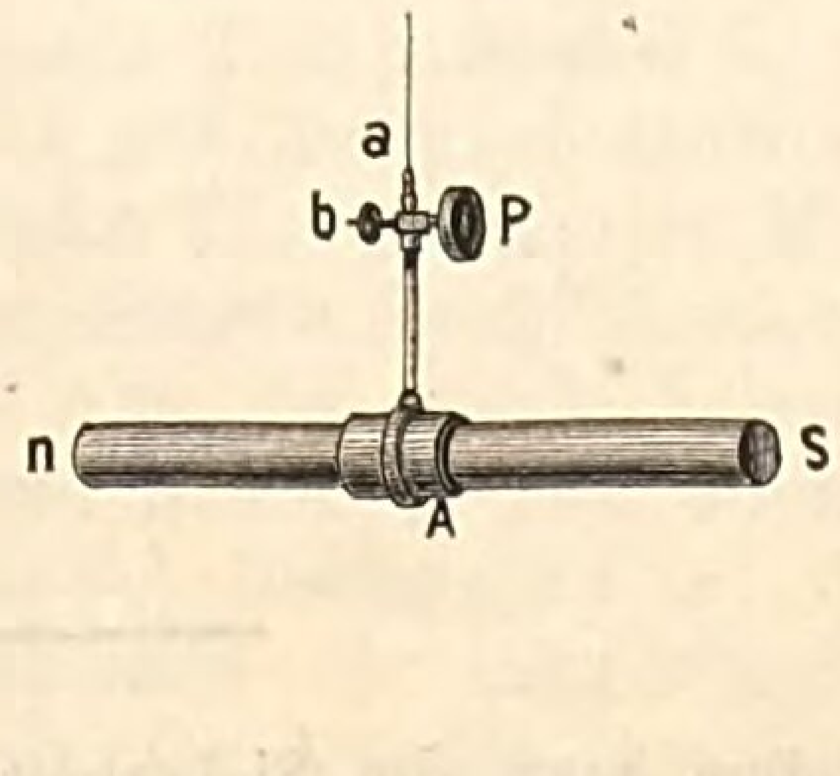


Erkl. 264. Der von *Lamont* konstruierte magnetische Reisetheodolit, der zur Bestimmung der magnetischen Deklination dient, ist sehr leicht transportabel und deshalb, wie schon sein Name sagt, besonders auf Reisen ein brauchbares Instrument.

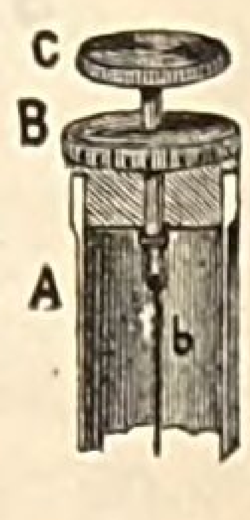
Der *Lamont*sche Reisetheodolit unterscheidet sich von dem *Gauss*schen Magnetometer im wesentlichen dadurch, dass er nicht wie dieser aus zwei getrennten Teilen besteht, sondern ein einziges Instrument ist, was *Lamont* durch sinnreiche Kombination jener beiden Teile in einen einzigen Teil erreichte. Durch nachstehende Beschreibung und durch die Figuren 112, 113 und 114 lässt sich die Einrichtung eines *Lamont*schen Reisetheodolits seinen wesentlichen Bestandteilen nach leicht erkennen.

Mit einer massiven messingenen kreisförmigen Platte AA_1 siehe Figur 112, ist der in Grade eingeteilte Horizontalkreis BB_1, welcher

Figur 110.

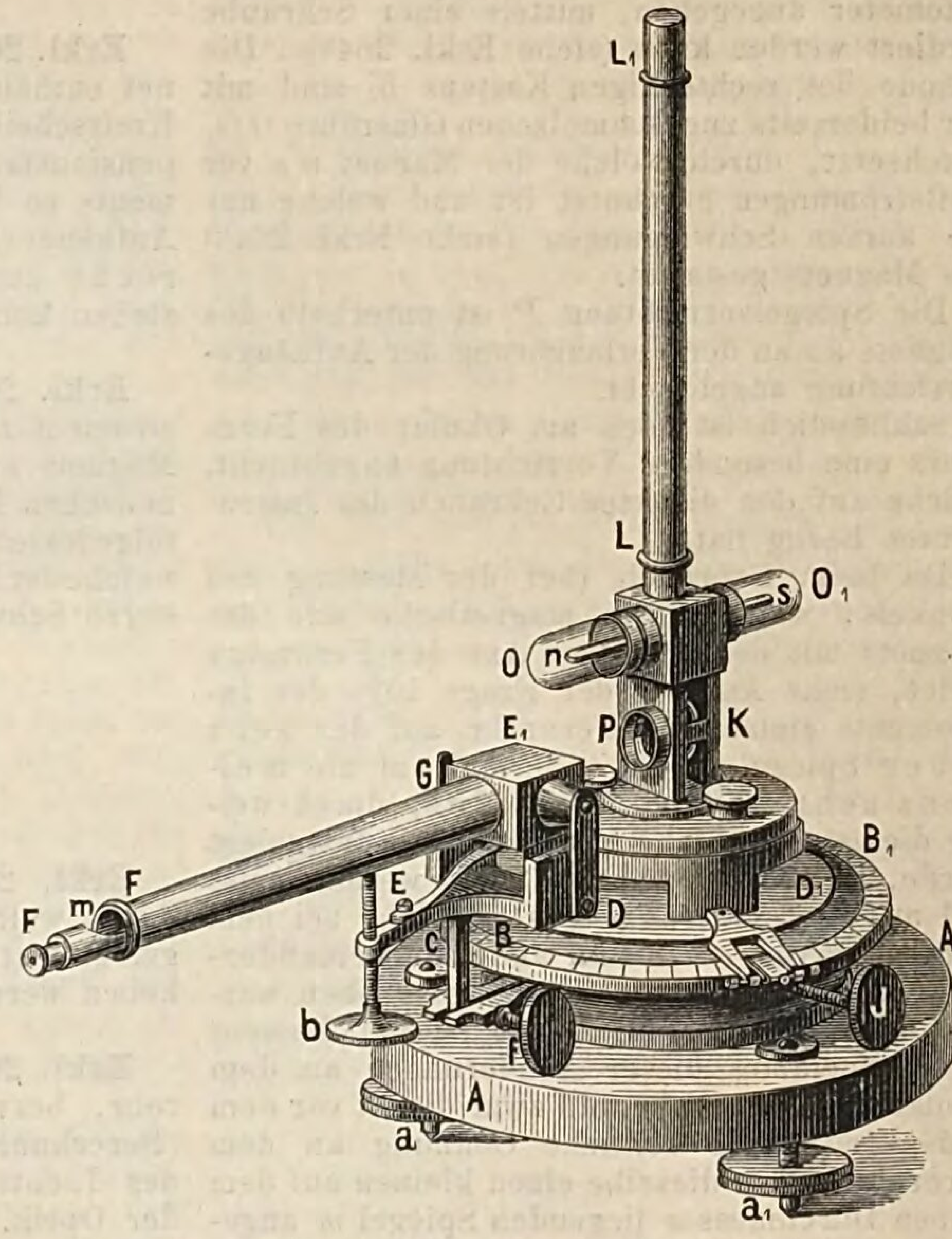


Figur 111.



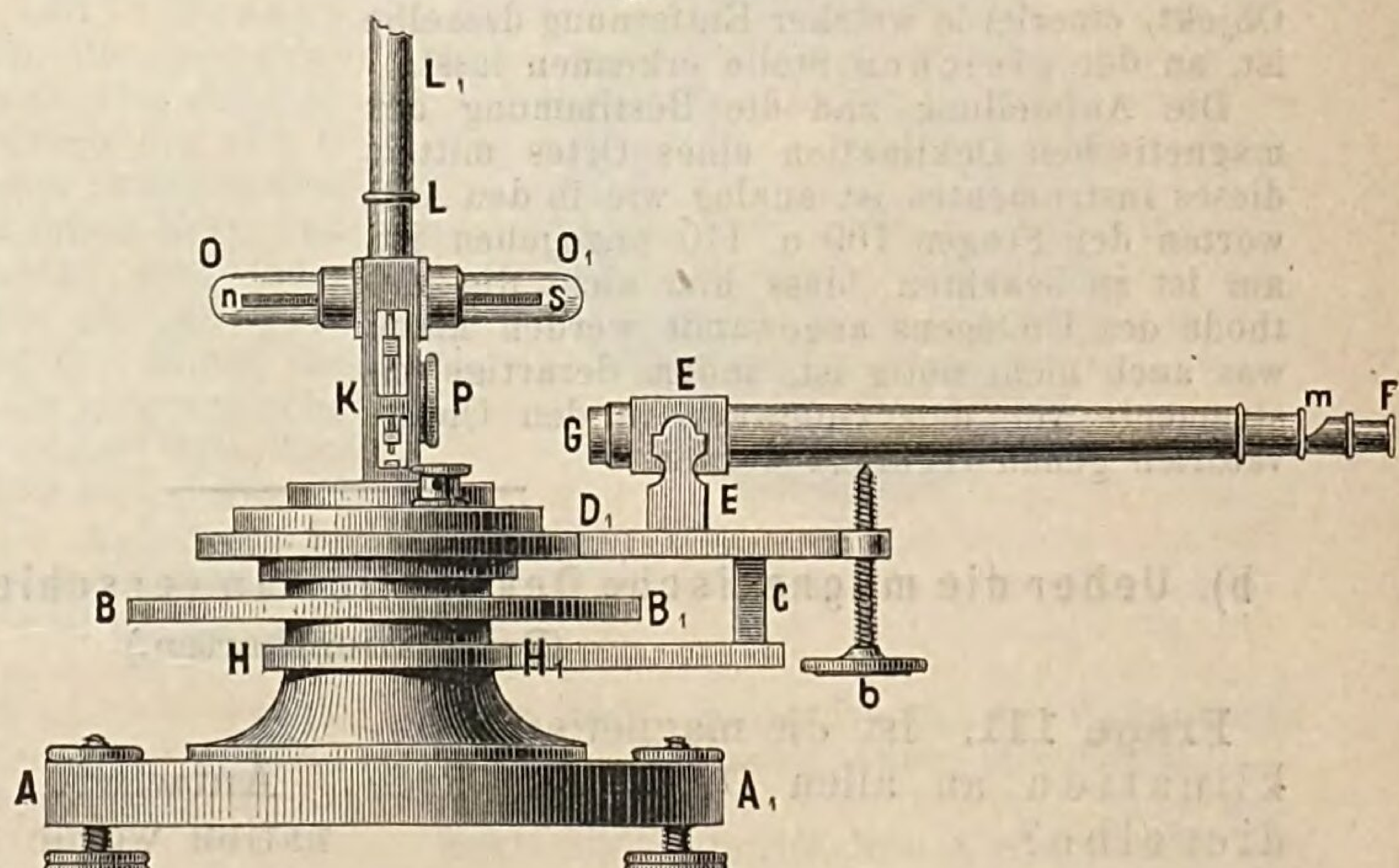
den Horizontalkreis des Theodolits beim *Gauss*'schen Magnetometer ersetzt, fest verbunden. Diese Messingplatte $A A_1$ kann mittels der drei Stellschrauben a a_1 und a_2 (letztere ist nicht sichtbar) genau horizontal gestellt werden. Durch die Messingplatte $A A_1$ und den Horizontalkreis $B B_1$ geht die in der Figur nicht sichtbare vertikale Axe C, dieselbe trägt die mit 2 festen Nonien verbundene kreisförmige Scheibe $D D_1$. Diese vertikale Axe C ruht in der Platte $A A_1$ und ist so angebracht, dass sich um dieselbe die Kreisscheibe $D D_1$ in horizontaler Ebene so drehen lässt, dass sie stets mit dem Horizontalkreis $B B_1$ konzentrisch bleibt. Mit Hilfe der an der Kreisscheibe $D D_1$ angebrachten Nonien kann man wie beim Theodolit jede Drehung dieser Scheibe an der Gradeinteilung des stets festen Horizontalkreises $B B_1$ ablesen.

Figur 112.



An der Kreisscheibe $D D_1$ ist ferner mittels der Vorrichtung $E E_1$ das Fernrohr $F G$ so angebracht, dass dessen optische Axe genau durch die die Mittelpunkte der Kreisscheibe $D D_1$ und des Horizontalkreises $B B_1$ enthaltende vertikale Linie geht. Das Fernrohr $F G$ nimmt an jeder horizontalen Drehung der Kreisscheibe $D D_1$ teil und kann ausserdem mittels der Schraube b auch in vertikaler Ebene etwas verschoben werden.

Figur 113.



Zur Feststellung der Kreisscheibe $D D_1$ und des daran befestigten Fernrohrs $F G$ ist die Vorrichtung E, welche das Fernrohr trägt, mittels eines Stäbchens c an den unterhalb des Horizontalkreises $B B_1$ liegenden, nur in der Figur 113 sichtbaren Ring $H H_1$ befestigt (siehe Erkl. 264[a]). Dieser Ring kann durch Zudrehen der Schraube J festgebremst werden, wodurch auch die Kreisscheibe $D D_1$ mit dem Fernrohr festgestellt werden kann.

Auf der Kreisscheibe $D D_1$, siehe Figur 112, ruht das Gehäuse, welches den Magnet ns enthält. Dasselbe besteht aus dem messingenen rechteckigen Kasten K, dessen sämtliche Oeff-

Erkl. 264[a]. Die Befestigungsweise der Kreisscheibe $D D_1$ an dem Ring $H H_1$ mittels des Stäbchens c, siehe Figur 113, ist aus der Figur 114 ersichtlich. Das Stäbchen c wird näm-

nungen mit Glasplatten verschlossen sind und aus der Messingröhre LL_1, an deren oberem Ende der Aufhängefaden (ein Coconfaden) des Magnets *ns* so befestigt ist, dass er, wie bei dem Magnetometer angegeben, mittels einer Schraube tordiert werden kann (siehe Erkl. 264b). Die Wände des rechteckigen Kastens *K* sind mit der beiderseits zugeschmolzenen Glasröhre $O O_1$ durchsetzt, durch welche der Magnet *n s* vor Luftströmungen geschützt ist und welche nur die kurzen Schwingungen (siehe Erkl. 264c) des Magnets gestattet.

Die Spiegelvorrichtung *P* ist unterhalb des Magnets *ns* an der Verlängerung der Aufhängevorrichtung angebracht.

Schliesslich ist noch am Okular des Fernrohrs eine besondere Vorrichtung angebracht, welche auf den direkten Gebrauch des Instrumentes Bezug hat.

Da beim Gebrauch (bei der Messung des Winkels, welchen die magnetische Axe des Magnets mit der optischen Axe des Fernrohrs bildet, siehe Antwort der Frage 109) des Instruments einmal das Fernrohr auf den sehr nahen Spiegel *P*, ein andermal auf die meistens sehr weit entfernte Mire, durch welche die astronomische Meridianebene festgelegt wurde, einvisiert (Erkl. 264d) werden muss und aus diesem Grunde das Fernrohr bei dem Uebergang vom einen zum andern auseinandergezogen und wieder zusammengeschoben werden muss (siehe Erkl. 264e), so hat *Lamont* zur Vermeidung dieser Aenderungen an dem Okular des Fernrohrs und zwar direkt vor dem Fadenkreuz eine seitliche Oeffnung an dem Fernrohr und in dieselbe einen kleinen auf dem halben Durchmesser liegenden Spiegel *m* angebracht, welcher den Zweck hat, das Fadenkreuz zu beleuchten, wodurch sich das einzuvisierende Objekt, einerlei in welcher Entfernung dasselbe ist, an der gleichen Stelle erkennen lässt.

Die Aufstellung und die Bestimmung der magnetischen Deklination eines Ortes mittels dieses Instrumentes ist analog wie in den Antworten der Fragen 109 u. 110 angegeben ist, nur ist zu beachten, dass hier nicht die Methode des Umlegens angewandt werden kann, was auch nicht nötig ist, indem derartige Instrumente vor dem Gebrauch in den Observatorien genau reguliert werden.

lich an dem Ring HH_1 durch die Feder *d* und die dagegen drückende Schraube *f* gehalten.

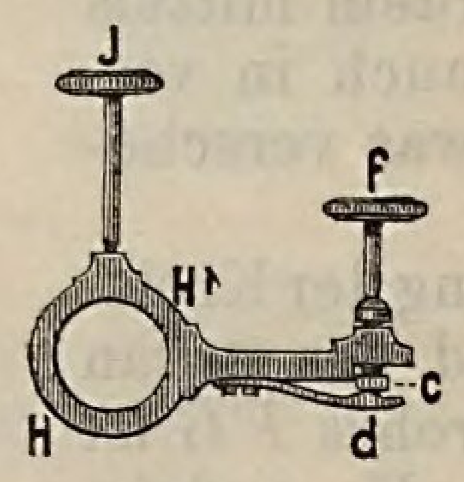
Erkl. 264b. Das Gehäuse, welches den Magnet enthält, wird beim Gebrauch so auf die Kreisscheibe $D D_1$ geschraubt, dass der Suspensionsfaden in die vertikale Axe des Instruments zu liegen kommt und dass der an der Aufhängevorrichtung befestigte Spiegel senkrecht zur optischen Axe des Fernrohrs zu stehen kommt.

Erkl. 264c. Beim Gebrauche wird das Instrument zuerst so gerichtet, dass die Axe des Magnets ziemlich in die Richtung der magnetischen Meridianebene zu liegen kommt, infolgedessen sind die seitlichen Schwingungen, welche der Magnet noch macht, nur sehr kleine, kurze Schwingungen.

Erkl. 264d. Beim einvisieren der Mire, durch welche der astronomische Meridian festgelegt wurde, muss das Magnetgehäuse abgehoben werden (siehe auch die Erkl. 260).

Erkl. 264e. Ausführliches über das Fernrohr, bezw. über die Gesetze der Refraktion (Berechnung) und Reflexion (Zurückwerfung) des Lichts findet man in Kleyers Lehrbuch der Optik.

Figur 114.



b). Ueber die magnetische Deklination an verschiedenen Orten der Erde.

(Deklinationskarten.)

Frage 111. Ist die magnetische Deklination an allen Orten der Erde dieselbe?

Erkl. 265. Die magnetische Deklination Deutschlands beträgt an den verschiedenen Orten zwischen 12 und 17° westlich (siehe Erkl. 243, Seite 86).

Antwort. Die magnetische Deklination wurde nach dem im vorigen Abschnitt angegebenen Verfahren schon seit einer langen Reihe von Jahren an sehr vielen Orten der Erde bestimmt, und hierbei ergab sich das Resultat, dass dieselbe fast an jedem Orte eine andre ist.

Frage 112. Was versteht man unter einer sogen. Deklinationskarte?

Erkl. 266. Zur Festlegung der einzelnen Orte auf der Oberfläche der Erdkugel benutzt man die Erdmeridiane und die Parallelkreise als Koordinatenaxen (siehe Erkl. 175, Seite 64). Erstere sind die grössten Kreise der als Kugel betrachteten Erde, welche durch die geographischen Pole, den Nord- und Südpol der Erde gehen; letztere sind solche Kreise, deren Ebenen parallel dem Erdäquator sind, wie z. B. die sogenannten Wende- und Polarkreise der Erde.

Denkt man sich nämlich durch einen festzulegenden Ort der Erdoberfläche, z. B. durch den Ort O, siehe Figur 115, einen Meridiankreis NOS und einen Parallelkreis BOC gelegt, so ist die Lage des Ortes O vollständig bestimmt, wenn man 1). den Winkel α kennt, welchen dieser Meridian mit einem als ersten Meridian $NASQ$ angenommenen Meridian bildet, und dessen Grösse am bequemsten durch den Bogen Ab des Aequators gemessen wird, welcher zwischen diesem als ersten Meridian $NASQ$ angenommenen und dem durch den Ort O gelegt gedachten Meridian NOS liegt; und wenn man 2). den Bogen Ob des Meridians NOS (bezw. den Winkel β) oder den Bogen BA eines andern Meridians NAS kennt, welcher zwischen dem durch den Ort O gelegt gedachten Parallelkreis BOC und dem Aequator AbQ liegt.

Den unter 1). angegebenen Bogen Ab des Aequators, welcher von einem festen Punkt A, dem sogenannten Nullpunkt, bezw. von dem einmal als fest angenommenen Null- oder Hauptmeridian $NASQ$ ausgehend, stets in der Richtung nach Osten gemessen und in Graden ausgedrückt wird, nennt man die „geographische Länge“ jenes Ortes O. Den unter 2). angegebenen Bogen bO des durch den Ort O gelegten Meridians NOS, welcher zwischen dem Aequator AQ und jenem Ort selbst liegt, und ebenfalls in Graden ausgedrückt wird (oder auch den Winkel β), nennt man die „geographische Breite“ des Ortes O. Durch die geographische Länge Ab und die geographische Breite bO des Ortes O ist die Lage desselben auf der Erdkugel vollständig bestimmt.

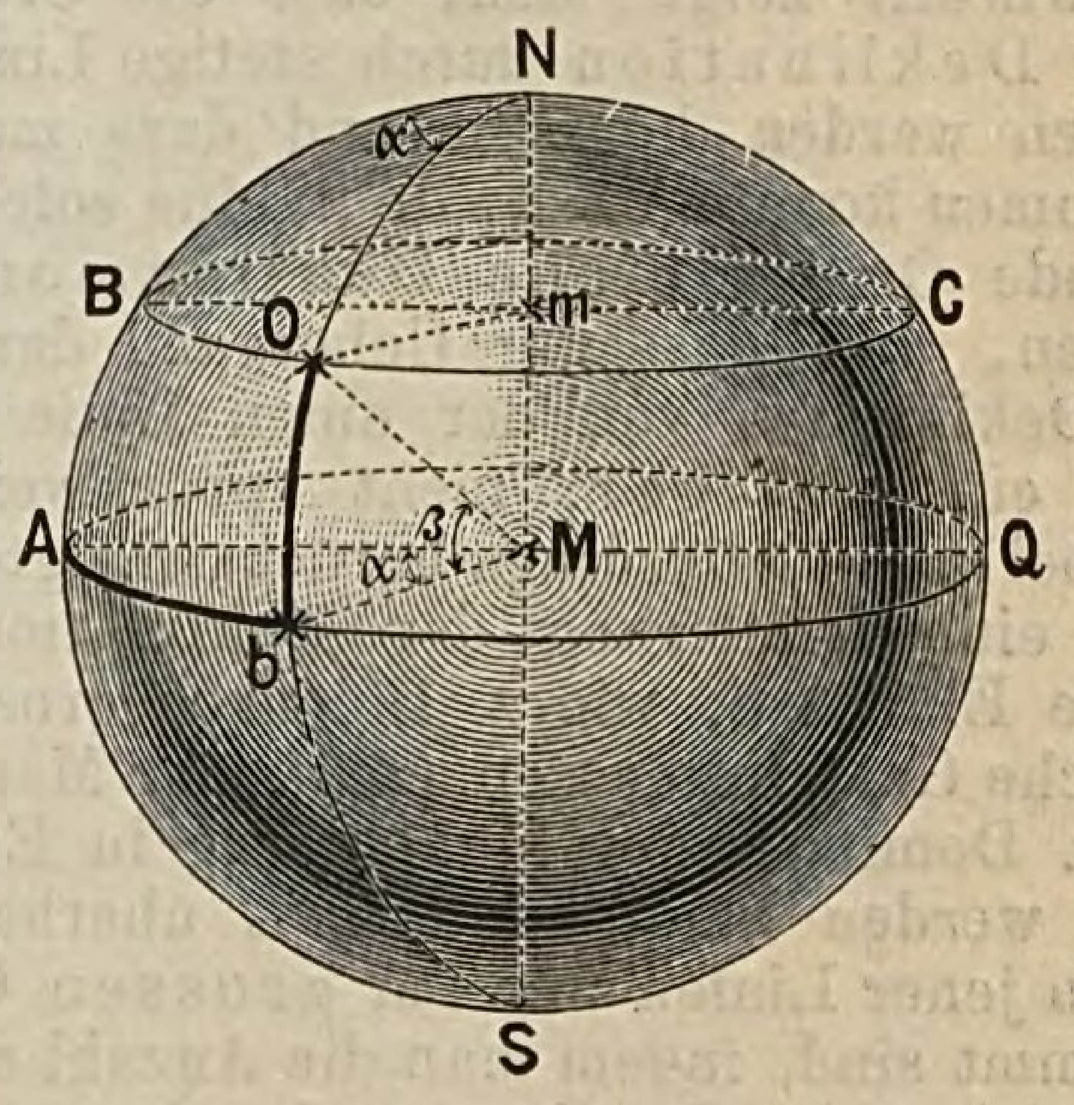
Als Nullpunkt, bezw. als Anfangspunkt der auf dem Aequator gemessenen geographischen Längen nimmt man in Deutschland den Schnittpunkt des Aequators mit dem durch die Insel Ferro (siehe Erkl. 266a) gehenden und als „ersten“ bezeichneten Meridian an und zählt die geographische Länge von 0° bis 360°. (Siehe Erkl. 266b.)

Als Nullpunkt, bezw. als Anfangspunkt der geographischen Breiten nimmt man den Schnittpunkt des durch den Ort gehenden Meridians mit dem Aequator an, und bezeichnet die geographischen Breiten vom Aequator bis zum Nordpol mit dem Namen: „nörd-

Antwort. Um einen bequemen Ueberblick über die Resultate der Beobachtungen, welche in betreff der magnetischen Deklination an den verschiedenen Orten der Erde gemacht wurden, zu erhalten, benutzte man die graphische Methode, indem man genaue Karten (siehe die Erkl. 266 u. 267) verfertigte, an den darauf verzeichneten Orten die bezügl. Deklinationen eintrug und die Orte, welche hierbei gleiche Deklination zeigten, durch stetige krumme Linien (siehe Erkl. 268) verband.

Die auf solche Weise bestimmten Linien, welche also die Orte der Erde, deren Deklination dieselbe ist, enthalten, nannte man dementsprechend: „Linien gleicher Deklination“ oder nach griechischer Bezeichnung: „isogonische Linien“, was dasselbe heisst, oder auch kurzweg „Isogonen“. Karten, welche die isogonischen Linien mit den entsprechenden Werten der magnetischen Deklination enthalten, nannte man „Deklinationskarten“ (siehe die Erkl. 266 bis 271).

Figur 115.



Erkl. 266a. Ferro ist eine der Kanarischen Inseln an der Nordwestküste von Afrika.

Erkl. 266b. In Frankreich nimmt man den Meridian der Sternwarte von Paris, welcher 20° Länge von Ferro hat, und in England den Meridian der Sternwarte von Greenwich, welcher 17° 39′ 36″ Länge von Ferro hat, als ersten Meridian an.

liche Breiten“, und vom Aequator bis zum Südpol mit dem Namen: „südliche Breiten“. Die geographischen Breiten zählt man, einerlei ob nördliche oder südliche Breiten, von 0° bis 90°; so spricht man z. B. von 30° nördlicher Breite und auch von 30° südlicher Breite.

Erkl. 267. Unter „Karten“ im allgemeinen Sinne versteht man Darstellungen der Erdoberfläche oder von Teilen derselben (auch der Himmelskugel) auf einer ebenen Fläche.

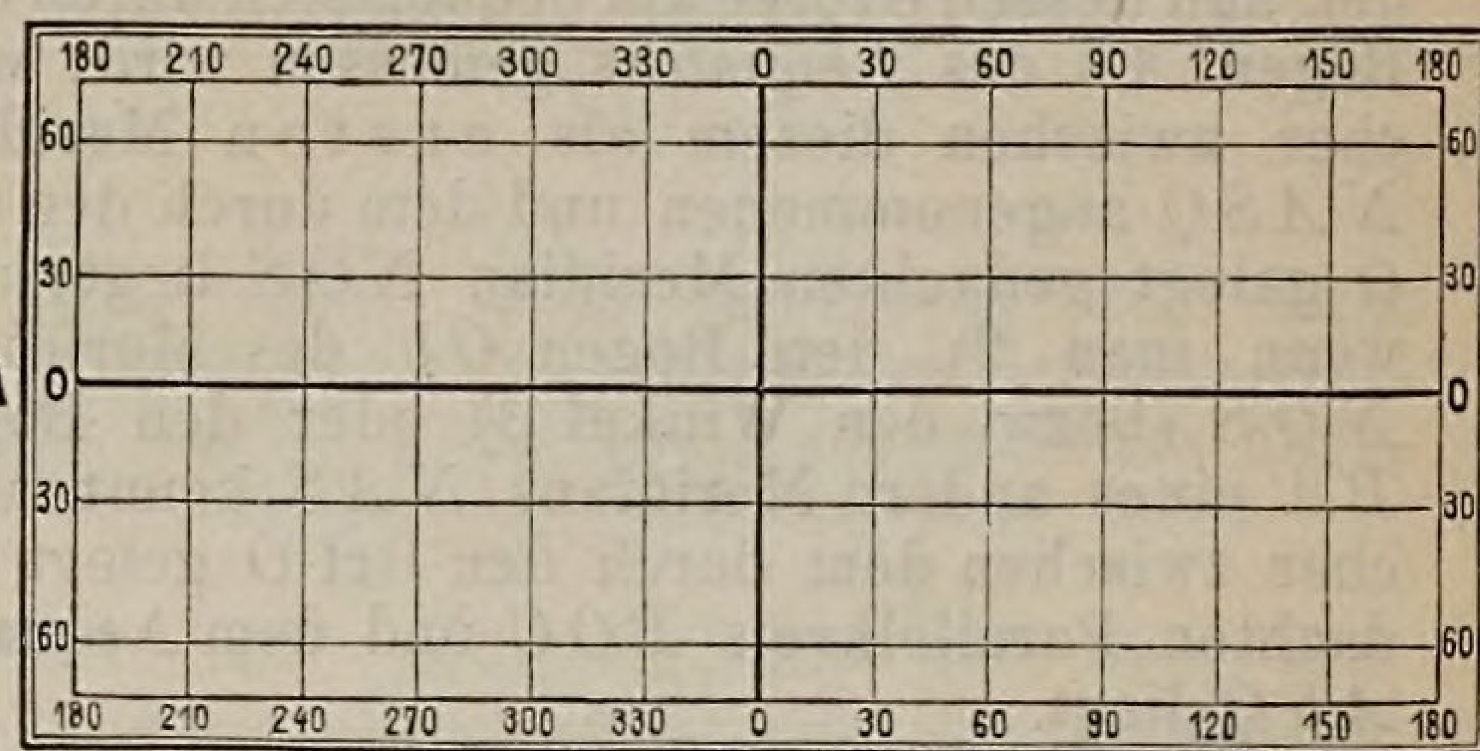
Hierbei bedient man sich gewöhnlich (siehe Erkl. 267a) entweder 1). der von dem Mathematiker *Gerhard Mercator* angegebenen und nach ihm benannten *Mercator*schen Projektionsart, die darin besteht, dass man den darzustellenden Teil der Oberfläche der Erde als den Mantel eines Cylinders betrachtet und denselben mitsamt den Parallel- und Meridiankreisen, zwischen welchen die besonderen Teile der Erdoberfläche, nämlich Länder, Meere, Flüsse und Seen etc. ihrer natürlichen Lage nach zu einander eingetragen sind, wie die Figur 116 zeigt, in einer Ebene entrollt; oder man benutzt 2). die durch Figur 117 dargestellte stereographische Polarprojektion, wobei wie diese Figur zeigt, der Pol als Mittelpunkt des Bildes erscheint, dessen Umgrenzung ein Kreis, nämlich der Aequator ist. Die Meridiane erscheinen als Durchmesser jenes Kreises, welche den Kreisumfang in gleiche Teile teilen; die Parallelkreise erscheinen als konzentrische Kreise jenes Kreises.

Erkl. 268. An je mehr Orten die Bestimmung der magnetischen Deklination stattfand, umsomehr zeigte sich, dass die Orte gleicher Deklination durch stetige Linien verbunden werden konnten und dass man dann annehmen konnte, dass alle in eine solche Linie fallende Orte gleiche Deklination haben müssen, und dass der Uebergang der Grösse der Deklination von der einen Linie zur andern ein stetiger, nicht sprungweiser ist. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass eine Aenderung der Deklination durch lokale Einflüsse, wie z. B. durch grosse magnetische Gesteinsmassen (z. B. der Magnetberg in St. Domingo, der Magnetberg in Elba) bedingt werden kann, und dass überhaupt die Lagen jener Linien nur im grossen Ganzen bestimmt sind, indem man die Anzahl der Orte, an welchen die Deklination bestimmt ist, im Verhältnis zur Grösse der Erde doch noch als eine ziemlich geringe bezeichnen muss.

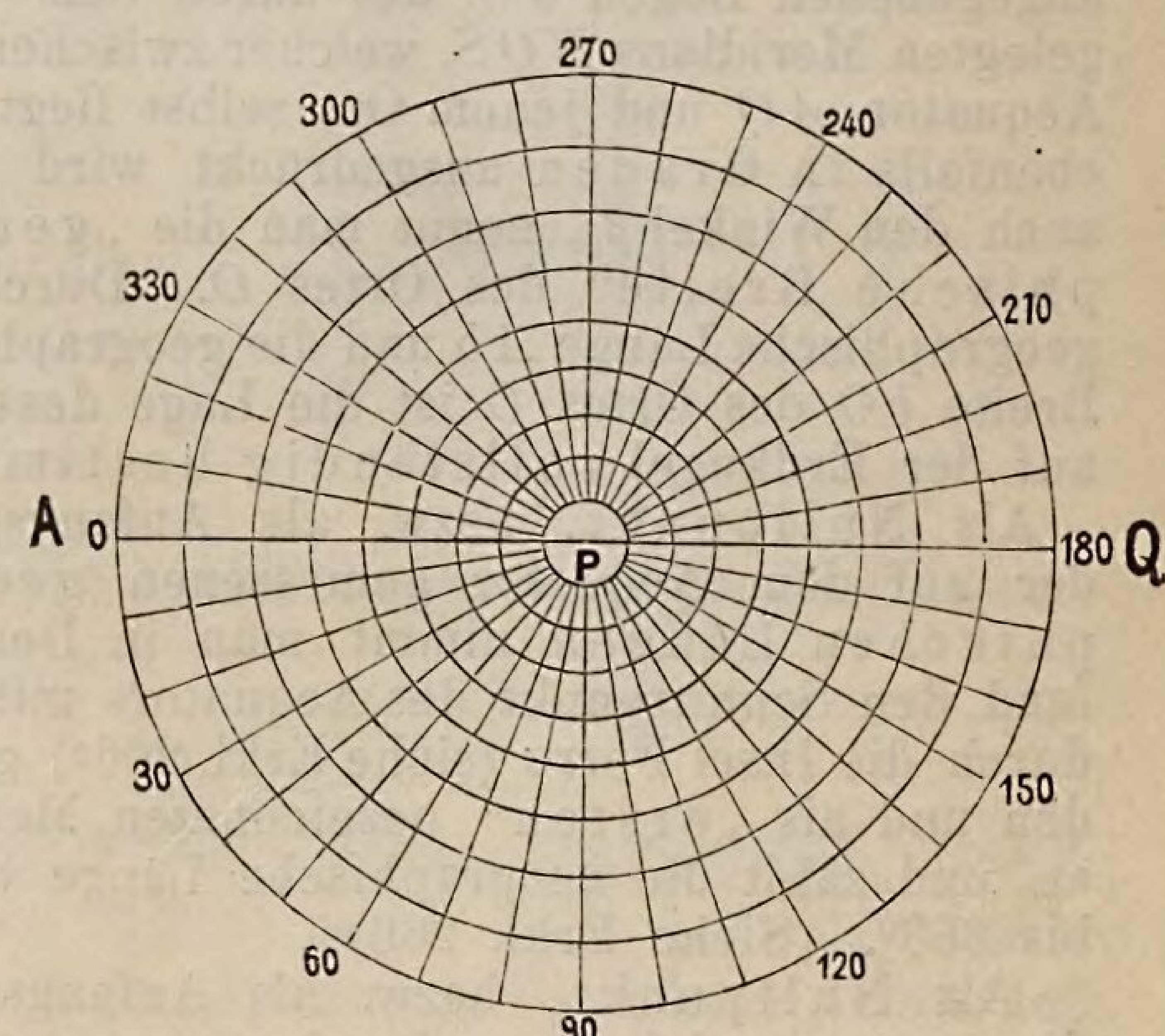
Erkl. 269. Die Karten I und II auf den folgenden Seiten stellen sogenannte „Deklinationskarten“ dar. Die Karte I stellt den Teil der Erdoberfläche, der zwischen dem 85° nördlicher und dem 60° südlicher Breite liegt, mit den isogonischen Linien nach *Mercators* Projektionsart (siehe Erkl. 267) dar. Auf dieser Karte sind die Isogonen, welche die Orte mit westlichen Deklinationen (siehe Erkl. 243,

Erkl. 267a. Es gibt noch einige andre Projektionsarten, welche man zur Darstellung der Erdoberfläche oder eines Teiles derselben benutzen kann. (Siehe Kleyers Lehrbuch der mathematischen Geographie.)

Figur 116.

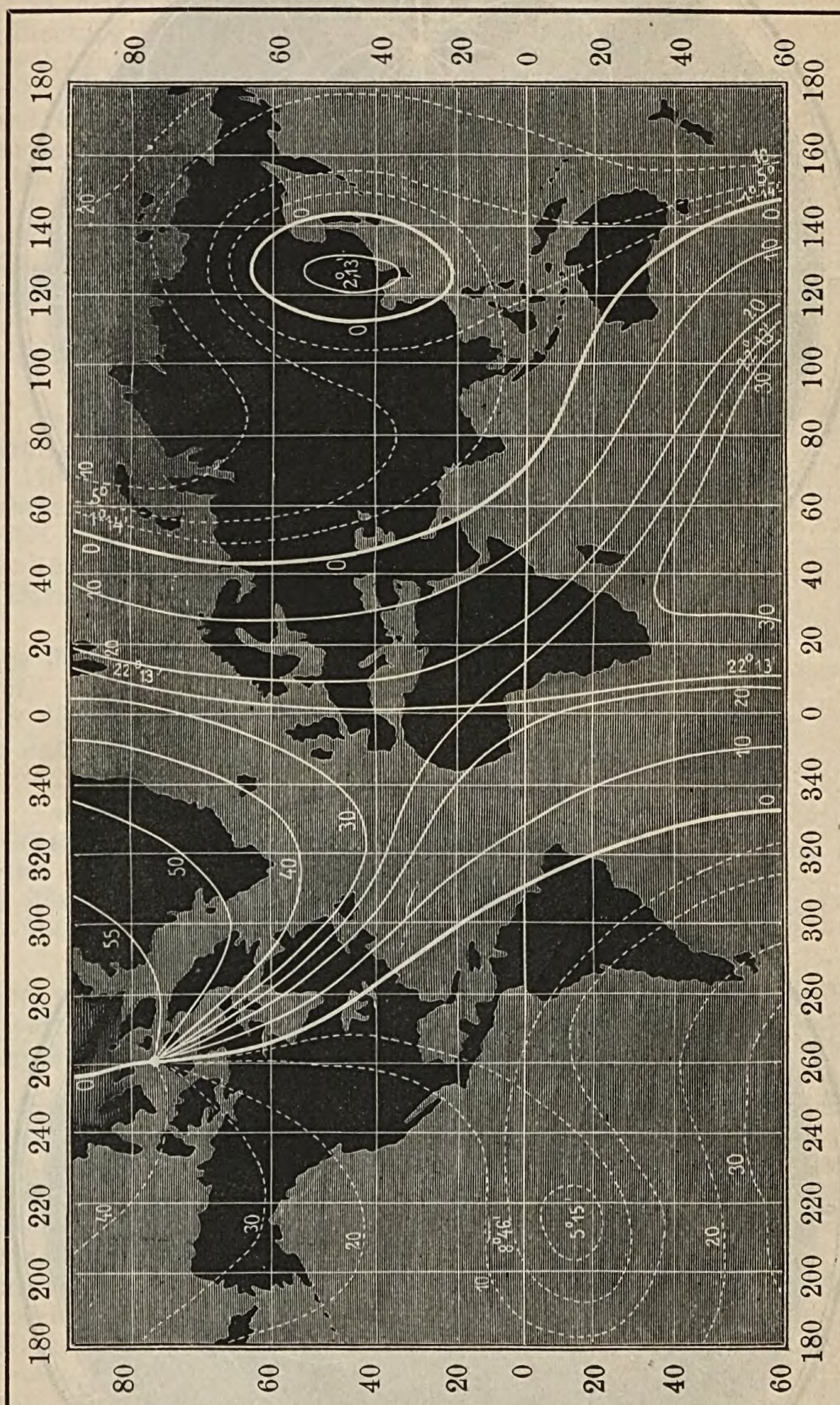


Figur 117.

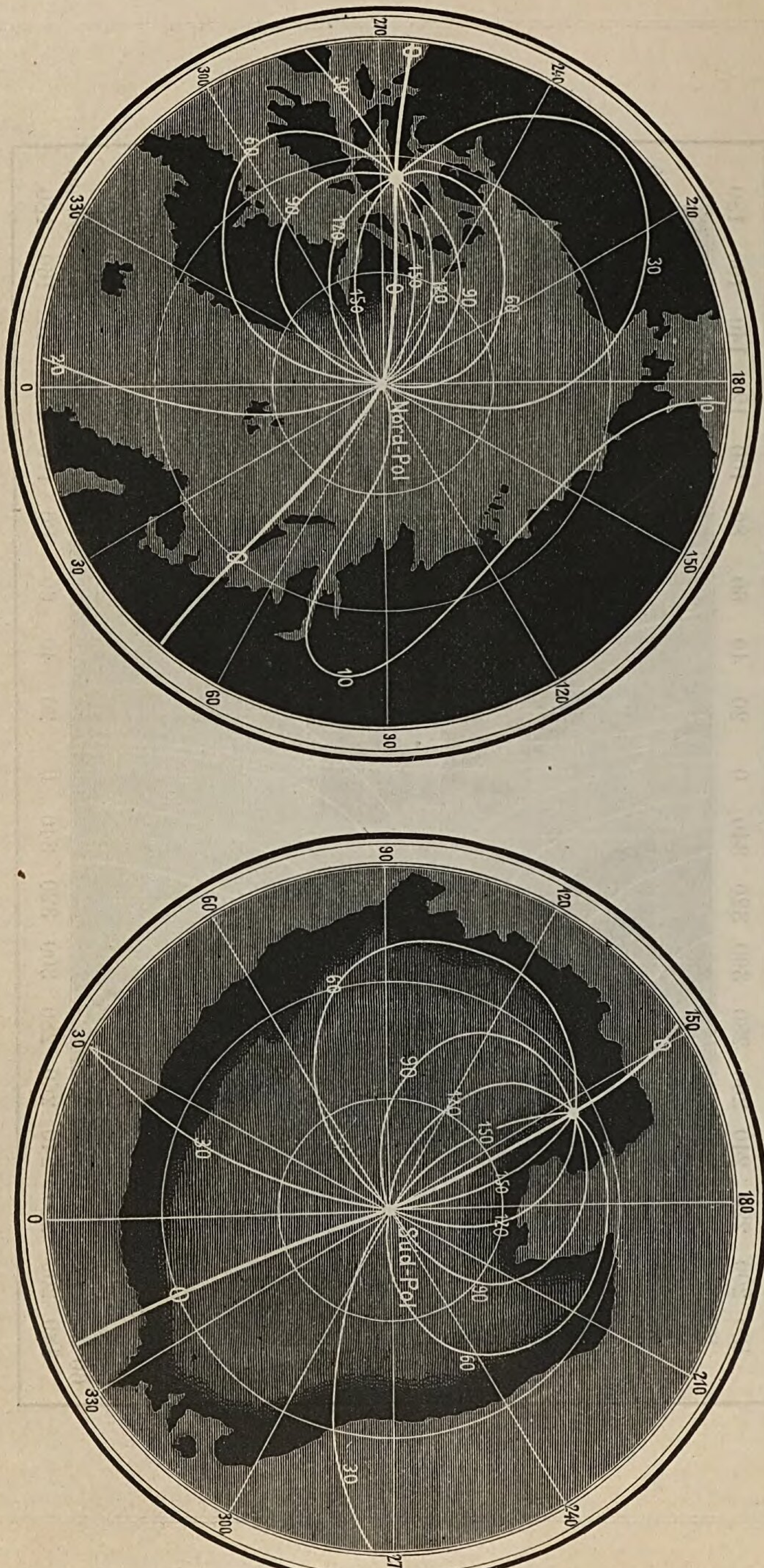


Karte I. Deklinationskarte.

Karte der Linien gleicher Deklination, der sogen. Isogonen, nach Mercators Projektionsart.



STAATSBIBLIOTHEK BAMBERG



Karte II. Deklinationskarte.

Karte der Linien gleicher Deklination, der sogen. Isogonen, nach der stereographischen Polarprojektionsart.

Seite 86) enthalten, ausgezogen; während die Isogonen, welche die Orte mit östlichen Deklinationen enthalten, punktiert sind.

Die Grösse der entsprechenden Deklination ist den betreffenden Linien beigedruckt, wobei bemerkt sei, dass die mit „0" bezeichneten und stark ausgezogenen Isogonen die Orte enthalten, in welchen die magnetische Axe der Deklinationsnadel in die Richtung des geographischen Meridians fällt, in welchen also die Deklination = 0 ist und die Deklinationsnadel genau nach Norden zeigt, und welche dementsprechend den besonderen Namen „die Linie ohne Abweichung" oder den griech. Namen „Agone" führt.

Die Karte II stellt die Teile der Erdoberfläche um die beiden Pole bis zum 60° nördlicher, bezw. bis zum 60° südlicher Breite mit den isogonischen Linien nach der stereographischen Polarprojektionsart (siehe Erkl. 267) dar.

Erkl. 270. Die erste der nach Antwort der Frage 112 konstruierten Deklinationskarten wurde für das Jahr 1700 von *Halley* hergestellt. In den späteren Jahren wurden infolge der Anregung von *Humboldt* und *Gauss* weitere sogenannte „magnetische Karten" (Deklinations-, Inklinations- und Intensitätskarten) unter anderm hergellt von:

Hansteen für die Jahre 1780, 1600, 1700, 1800 und 1827;
Ad. Ermann für die Jahre 1827—1831;
Horner für das Jahr 1830;
Barlew „ „ „ 1833;
Sabine „ „ „ 1840 u. s. f.

Von besonderer Genauigkeit sind die *Gauss-Weber*'schen Karten und die Spezialkarten Deutschlands und des mittleren Europa von *Lamont* (München 1854).

Erkl. 271. Eine andre Art der Herstellung von Deklinationskarten, als die in Antwort der Frage 112 gegebene, hat *Duperrey* angewendet.

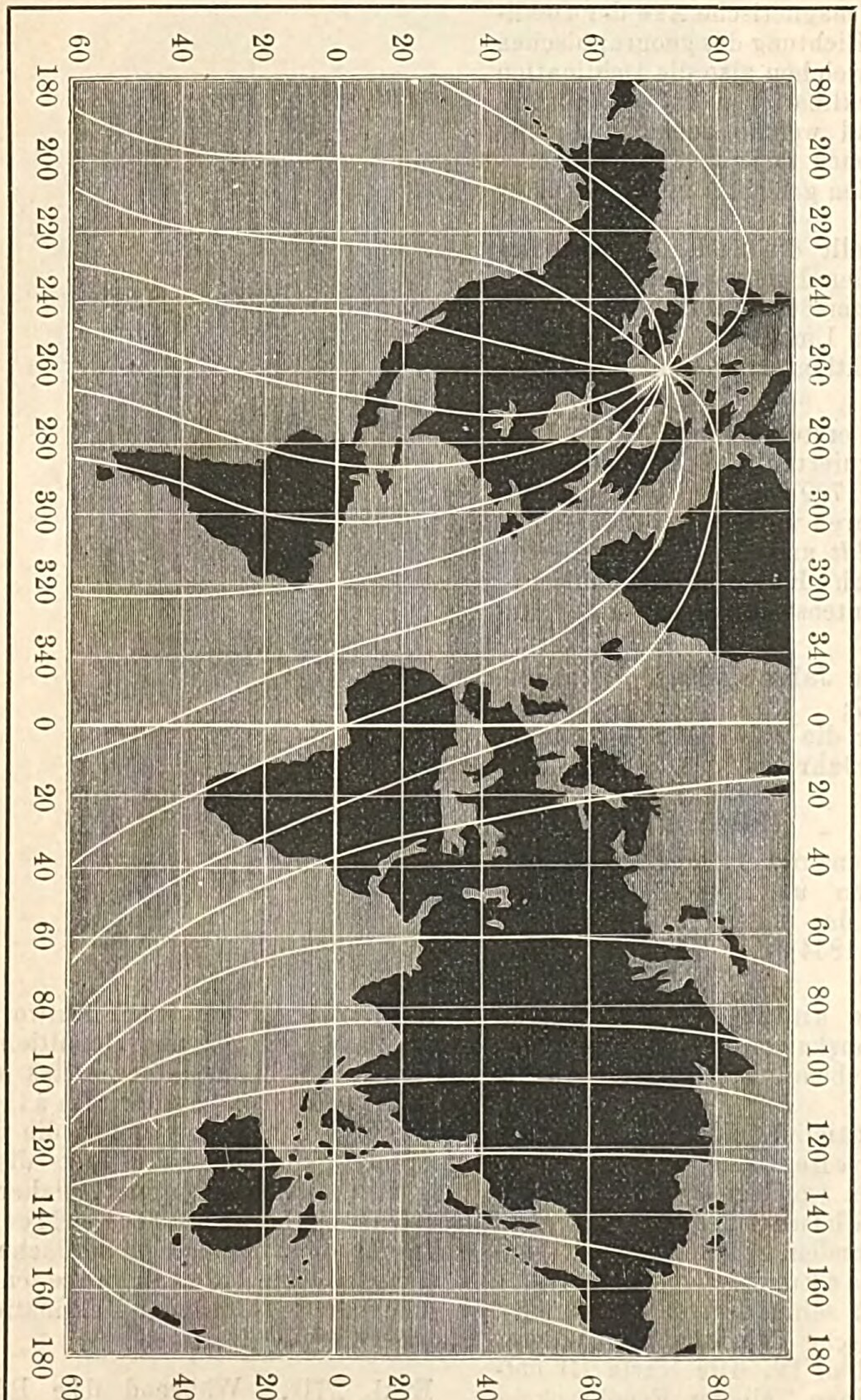
Duperrey hat nämlich nicht die Orte der Erde, welche gleiche Deklination haben, sondern die Orte, in welchen die Deklinationsnadel gleiche Richtung im Raume zeigt, durch Linien verbunden, diese Linien „magnetische Meridiankurven" genannt (siehe Erkl. 271ª) und auf seinen Karten verzeichnet.

Solche magnetische Meridiankurvenkarten sind die Karten III u. IV. Die Karte III enthält wie Karte I einen Teil der Erdoberfläche nach *Mercators* Projectionsart; die Karte IV enthält die Teile der Erdoberfläche um die beiden Pole bis zum 60° nördlicher, bezw. 60° südlicher Breite in stereographischer Polarprojektionsart. (Siehe die Erkl. 275.)

Erkl. 271ª. Nach der in Antwort der Frage 83, Seite 65, gegebenen Definition des magnetischen Meridians eines Ortes enthält die vertikale Ebene desselben im allgemeinen die Orte der Erde, in welchen die magnetische Axe der Deklinationsnadel stets dieselbe Richtung im Raume einnimmt, daher rührt die Bezeichnung „magnetische Meridiankurven" für die auf der Erdoberfläche gezogenen Linien, welche bezw. die Orte enthalten, in welchen die Richtung der Deklinationsnadel im Raume dieselbe ist.

Erkl. 271ᵇ. Während die Richtungen der Deklinationsnadel an den Orten einer Linie gleicher Deklination verschieden sind, sind die Deklinationen an den Orten eines magnetischen Meridians verschiedene.

Erkl. 271ᶜ. Ein zu den Meridiankurven senkrechtes Liniensystem nennt man das System der magnetischen Parallel- oder Breitenkreise, analog den geographischen Bezeichnungen in der Erkl. 266.

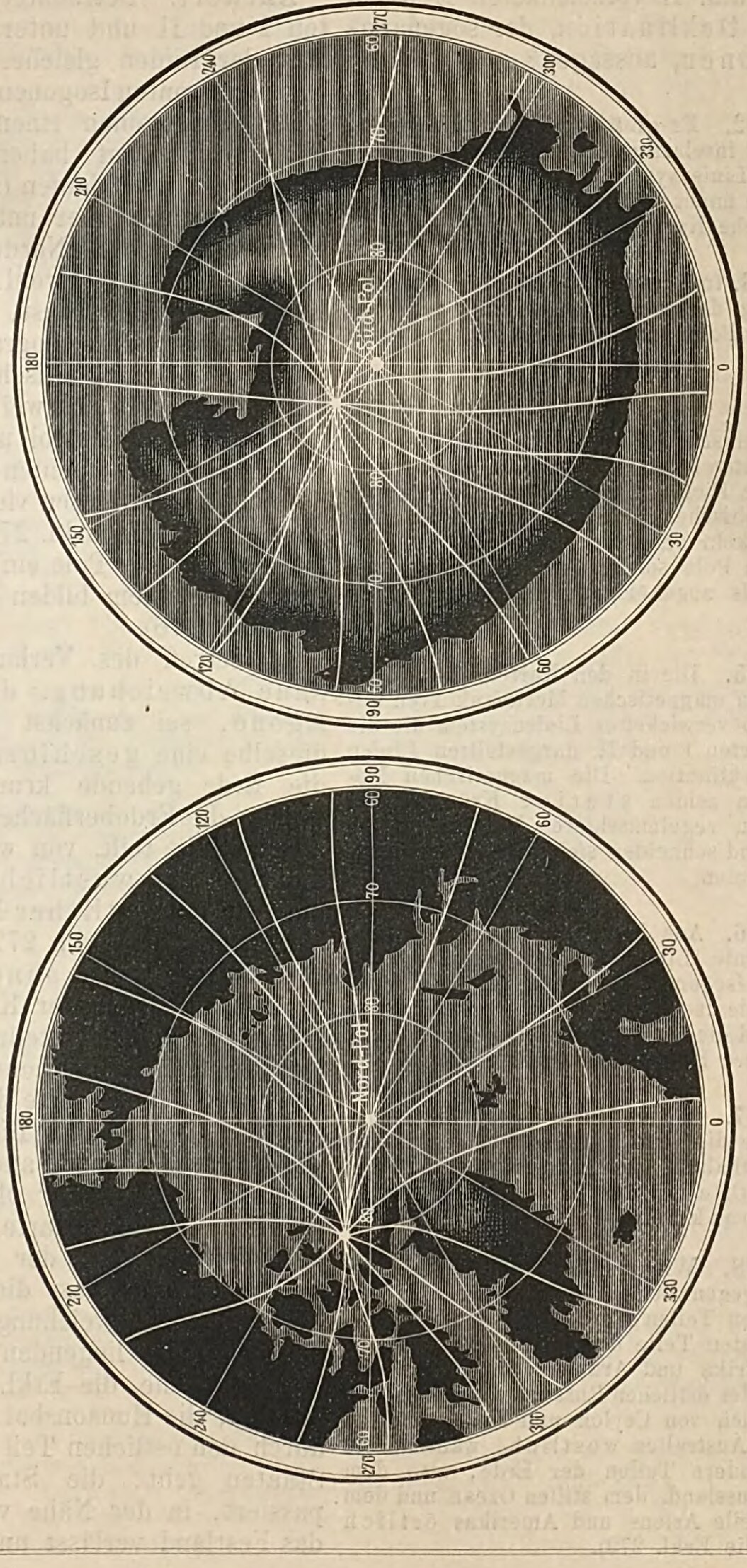


Karte III. Karte Duperreys.

Karte der magnetischen Meridiankurven nach Mercators Projektionsart.

Karte IV. Karte Duperreys.

Karte der magnetischen Meridiankurven nach der stereographischen Polarprojektionsart.



Frage 113. Was kann man im allgemeinen über den Verlauf der in den Karten I und II verzeichneten Linien gleicher Deklination, der sogenannten Isogonen, aussagen?

Antwort. Betrachtet man die Karten I und II und untersucht den Verlauf der Linien gleicher Deklinationen, der sogenannten Isogonen, so findet man, dass die Isogonen einen sehr unregelmässigen Verlauf haben, teilweise in sich selbst zurücklaufen (siehe Erkl. 272), im allgemeinen aber unter bedeutenden Krümmungen von Norden nach Süden gehen und sich sowohl, wie aus der Karte II ersichtlich ist, im Norden in zwei Punkten, dem geographischen Nordpol und dem magnetischen Südpol, als auch im Süden in zwei Punkten, dem geographischen Südpol und dem magnetischen Nordpol schneiden (siehe Erkl. 273), dass sie also in diesen vier Punkten konvergieren (siehe Erkl. 274) und dass sie in der Nähe der Pole ein sehr verwickeltes Liniensystem bilden (siehe die Erkl. 275 und 276).

In betreff des Verlaufs der Linie ohne Abweichung, der sogenannten Agone, sei zunächst bemerkt, dass dieselbe eine geschlossene ringsum die Erde gehende krumme Linie ist, welche die Erdoberfläche nahezu in zwei gleiche Teile teilt, von welchen der eine die Orte mit westlicher, der andre die Orte mit östlicher Deklination enthält (siehe die Erkl. 277—279). Diese geschlossene Linie ohne Abweichung zerfällt auf jeder der Karten I und II, infolge der zur Herstellung dieser Karten benutzen Projektionsarten, in zwei getrennte Teile, welche durch stärkere mit „0“ bezeichnete Linien dargestellt sind, weshalb man auch bei solchen Karten von „Linien“ ohne Abweichung spricht. Aus der Karte I ersieht man, dass der eine Teil der Linie ohne Abweichung, bezw. dass die eine Linie der Linien ohne Abweichung, von dem in Nordamerika liegenden magnetischen Südpol (siehe die Erkl. 273 und 280) ausgeht, die Hudsonsbai durchschneidet, durch den östlichen Teil der Vereinigten Staaten geht, die Stadt Washington passiert, in der Nähe von Philadelphia das Festland verlässt und in den atlan-

Erkl. 272. Es gibt auch solche Isogonen, welche sich inselartig schliessen und ein konzentrisches Liniensystem bilden. Derartige Liniensysteme findet man in China und im stillen Ozean. (Siehe Karte I und Erkl. 279.)

Erkl. 273. In betreff der ungleichnamigen Bezeichnung der magnetischen und der geographischen Pole der Erde siehe die Erkl. 154, Seite 56.

Erkl. 274. Dass die Isogonen auch durch die geographischen Pole gehen, bezw. auch in diesen Punkten konvergieren, rührt daher, weil daselbst die Richtung einer Deklinationsnadel die geographischen Meridiane unter allen möglichen Winkeln schneidet, weshalb die geographischen Pole solche Orte sind, die allen Isogonen als zugehörig zugesprochen werden können.

Erkl. 275. Die in den Karten III und IV dargestellten magnetischen Meridiankurven bilden kein so verwickeltes Liniensystem als die in den Karten I und II dargestellten Linien gleicher Deklination. Die magnetischen Meridiankurven zeigen stetige Krümmungen, haben einen regelmässigeren Verlauf als die Isogonen und schneiden sich nur in den magnetischen Polen.

Erkl. 276. Aus der Karte I ist ersichtlich, dass die Linie (Linien) ohne Abweichung von sämtlichen Isogonen am wenigsten gekrümmt ist, dass die Isogonen westlicher Abweichung stärkere und die Isogonen östlicher Abweichung noch stärkere Krümmungen zeigen.

Erkl. 277. In der Karte I sind die Isogonen, welche die Orte mit westlichen Deklinationen enthalten, ausgezogen, während die, welche die Orte mit östlichen Deklinationen enthalten, punktiert sind.

Erkl. 278. Wie man aus der Karte I ersieht, ist gegenwärtig die Deklination in den nordöstlichen Teilen Nord- und Südamerikas, einem grössten Teile des atlantischen Ozeans, in ganz Afrika und Arabien, in Europa mit Ausnahme des östlichen Russlands, im indischen Ozean südlich von Ceylon und Java, und im westlichen Australien westlich, während sie in allen andern Teilen der Erde, also dem östlichen Russland, dem stillen Ozean und dem grössten Teile Asiens und Amerikas östlich ist (siehe die Erkl. 279).

Erkl. 279. Wie man aus Karte I ersieht, bildet in dem Gebiete der östlichen Deklinationen merkwürdigerweise Japan, ein Teil von Sibirien und China eine Insel mit westlicher Deklination. Der Mittelpunkt dieser Insel zeigt 2° 30′ westliche Deklination (siehe Erkl. 272).

Erkl. 280. Nach den Angaben des Kapitäns *John Ross* liegt der im Jahre 1831 entdeckte magnetische Südpol (d. i. der magnetische Pol, der in der Nähe des geographischen Nordpols liegt) auf der Insel Melville und zwar 70° 5′ nördl. Breite und 263° 15′ Länge; während er nach der theoretischen Bestimmung von *Gauss* (siehe den Abschnitt, welcher über die Theorie des Erdmagnetismus handelt) auf der Insel Boothia bei 73° 35′ nördl. Breite und 263° 14′ Länge von Greenwich liegt.

Ferner liegt nach den Angaben des Kapitäns *James Clark Ross* der im Jahre 1840 entdeckte magnetische Nordpol (d. i. der magnetische Pol, der in der Nähe des geographischen Südpols liegt) in dem von ihm neu entdekten Victorialand und zwar in 76° südl. Breite und 171° Länge; während er nach der theoretischen Bestimmung von *Gauss* im Süden von Van-Diemensland (von Tasmania) bei 66° südl. Breite und 164° Länge von Greenwich liegt. (Siehe die Erkl. 152 und 281.)

Erkl. 281. Aus den in der Erkl. 280 verzeichneten Angaben ergibt sich, dass die magnetischen Pole nicht in den Endpunkten eines Durchmessers der Erdkugel liegen.

Erkl. 282. Bemerkt sei noch, dass die Deklinationskarten zur Orientierung für die Schiffahrt von der grössten Wichtigkeit sind, indem beim Gebrauch des Kompass die Kenntnis der Deklination an den einzelnen Orten erforderlich ist.

tischen Ozean eintritt, dann östlich an den westindischen Inseln (den Antillen) vorbeizieht, in der Gegend der Mündung des Amazonenstroms den östlichen Teil von Südamerika (Brasilien) durchsetzt, bei 20° s. Breite und 320° Länge von Greenwich wieder in's Meer tritt, den atlantischen Ozean durchschneidet und ihren weiteren Verlauf durch das südliche Eismeer nach dem magnetischen Nordpol nimmt. Diesen Teil der Linie ohne Abweichung nennt man auch die „amerikanische Linie.“

Ferner ersieht man aus der Karte I, dass der andre Teil der Linie ohne Abweichung, bezw. dass die andre Linie der Linien ohne Abweichung, vom nördlichen Eismeer sich herziehend, das weisse Meer (Lappland) durchschneidet, durch die östliche Spitze der Insel Kola geht, sich mitten durch Russland (am Ural) herzieht, dann nach dem kaspischen Meer sich zuwendet, Persien und den persischen Meerbusen durchzieht, das östliche Arabien durchschneidet, in das indische Meer eintritt und sich, nachdem sie Neuholland (Australien) passiert, dem südlichen Eismeer, bezw. dem magnetischen Nordpol zuwendet. Diesen Teil der Linie ohne Abweichung nennt man auch die „asiatische Linie.“ Siehe die Erkl. 272—282.

c). Ueber die magnetische Deklination eines Ortes zu verschiedenen Zeiten.

Frage 114. Ist die magnetische Deklination an einem und demselben Ort zu jeder Zeit dieselbe?

Antwort. Die magnetische Deklination an einem und demselben Ort ist nicht zu jeder Zeit dieselbe, indem die Richtung der magnetischen Axe einer Deklinationsnadel, bezw. die hierdurch bestimmte magnetische Meridianebene beständigen Schwankungen und Veränderungen unterworfen, mithin keine unveränderliche feste Ebene wie die astronomische Meridianebene ist (siehe die Erkl. 283 und 284).

Erkl. 283. Zur genauen Ergründung der Veränderungen, welchen die Deklination (und wie später auch gezeigt wird die Inklination und Intensität) unterworfen ist, wurden seit dem Jahre 1829 infolge der Aufforderung *Alexander v. Humboldts* (geb. 14. Sept. 1769 in Berlin, berühmter Naturforscher und Reisender) an 84 Orten der Erde magnetische Beobachtungsstellen, sogenannte magnetische Observatorien errichtet. An diesen Observatorien wurde bereits ein reichhaltiges Material in betreff jener Veränderungen gesammelt.

Erkl. 284. Die beständigen Schwankungen und Veränderungen der magnetischen Deklination (auch der Inklination und der Intensität) eines Ortes lassen sich sehr schwer und fast kaum an einer gewöhnlichen Deklinationsnadel mit dem blossen Auge wahrnehmen, wohl aber lassen sich dieselben aufs schärfste beobachten und bestimmen mittels des Magnetometers und des Theodolits.

Zur Beobachtung der Schwankungen einer Deklinationsnadel mittels eines Magnetometers braucht man das Magnetometer nicht aufzustellen, wie es bei Bestimmung des absoluten Wertes der Deklination eines Ortes nötig ist (siehe die Antworten der Fragen 109 und 110); so ist es hierbei z. B. nicht notwendig, dass die Ebene des Spiegels *P* (siehe die Figuren 102—104) senkrecht zur magnetischen Axe des Magnets ist, indem sie jeden beliebigen Winkel mit derselben bilden kann; ebenso ist es nicht notwendig, dass die optische Axe des Fernrohrs mit jener magnetischen Axe in einer und derselben Vertikalebene zu liegen kommt, es kann deshalb der das Fernrohr tragende Theodolit auch beliebig seitlich aufgestellt werden. Näheres über die Beobachtung, bezw. Bestimmung der Veränderungen der magnetischen Deklination findet man in einem späteren Abschnitt.

Frage 115. In welche verschiedene Arten kann man die Schwankungen, Veränderungen der magnetischen Deklination eines und desselben Ortes einteilen?

Antwort. Die Veränderungen, welchen die magnetische Deklination eines Ortes unterworfen ist, kann man, infolge gemachter Beobachtungen, einteilen:

1). in periodische Veränderungen (Variationen), d. s. solche, welche sich nach bestimmten Zeiträumen in gleicher Weise (periodisch) wiederholen, was erfahrungsgemäss bei den täglichen Veränderungen oder täglichen Variationen der Fall ist, weshalb letztere auch zu den periodischen gehören;

2). in regelmässige Veränderungen, d. s. solche, welche meistens durch Jahre und durch Jahrhunderte langsam fortschreiten, deshalb jährliche und säkulare Veränderungen genannt werden, und

3). in unregelmässige Veränderungen, d. s. solche, welche an keine bestimmte Zeit und keine bestimmte Grenze gebunden sind und kurzweg den Namen „Deklinationsstörungen“ führen.

Erkl. 285. Was in betreff der Veränderungen der magnetischen Deklination eines und desselben Ortes in nebenstehender Antwort gesagt ist, gilt auch in betreff der Veränderungen der magnetischen Inklination und der Intensität eines Ortes.

Erkl. 286. Die säkularen und täglichen Variationen der magnetischen Deklination (auch der Inklination und Intensität) lassen sich wie gezeigt wird berechnen, während die sogenannten „Störungen“, die von *Humboldt* bei sehr heftigem Auftreten auch den Namen „magnetische Gewitter“ erhielten, sich jeder Berechnung entziehen.

Erkl. 287. Bei den in nebenstehender Antwort erwähnten Veränderungen ist von lokalen Störungen, die infolge von in der Nähe des betreffenden Ortes etwa vorhandenen magnetischen Gesteinsmassen herrühren können, abgesehen.

Frage 116. Worin bestehen die täglichen Variationen der magnetischen Deklination eines Ortes?

Antwort. Bezüglich der täglichen Variationen der magnetischen Deklination beobachtete man, dass im allgemeinen in den Abend- und Nachtstunden die Deklinationsnadel fast keine Aenderung erleidet, dass in unsern Gegenden morgens gegen 8 Uhr die Deklination am kleinsten ist, dass sich von da ab das Nordende der Deklinationsnadel langsam nach Westen zu bewegt und nachmittags gegen 2—5 Uhr das Maximum der westlichen Ablenkung erreicht und dann langsam wieder östlich zurückgeht.

Diese periodischen täglichen Variationen der magnetischen Deklination, welche auf die Temperaturunterschiede am Tage und in der Nacht zurückzuführen sind, wie der Physiker *Seebeck* in Berlin bewies, sind keineswegs für jeden Tag jahraus jahrein dieselben, sondern sie sind auch infolge der Temperaturunterschiede während des Jahres unter sich veränderlich, indem man durch Messen der sogenannten Amplituden dieser täglichen Variationen (siehe Erkl. 288) fand, dass dieselben in den Sommermonaten am grössten sind. Man teilte deshalb das Jahr in zwei Hälften, in die Sommerhälfte (April bis September) und in die Winterhälfte (Oktober bis März) ein und suchte die sogenannten „Mittelwerte“ der täglichen Variationen für diese beiden Jahresteile festzustellen. Aus diesem Grunde spricht man auch von den „Mittelwerten“ der täglichen Variationen eines Ortes (siehe Erkl. 289 bis 291 und auch die Erkl. 292, 293 und 295).

Erkl. 288. Unter „Amplitude“ (vom lat. amplitudo, Weite) versteht man in der Mathematik im allgemeinen die Weite eines Bogens. Unter „Amplitude der täglichen Variation der magnetischen Deklination eines Ortes“ versteht man den Bogen, bezw. den Winkel, welcher zwischen dem östlichsten und westlichsten Stand der Deklinationsnadel liegt.

Erkl. 289. Der Mittelwert der täglichen Variationen der magnetischen Deklinationen in Deutschland beträgt in der Zeit vom April bis zum September 13—15 Minuten (s. Erkl. 290).

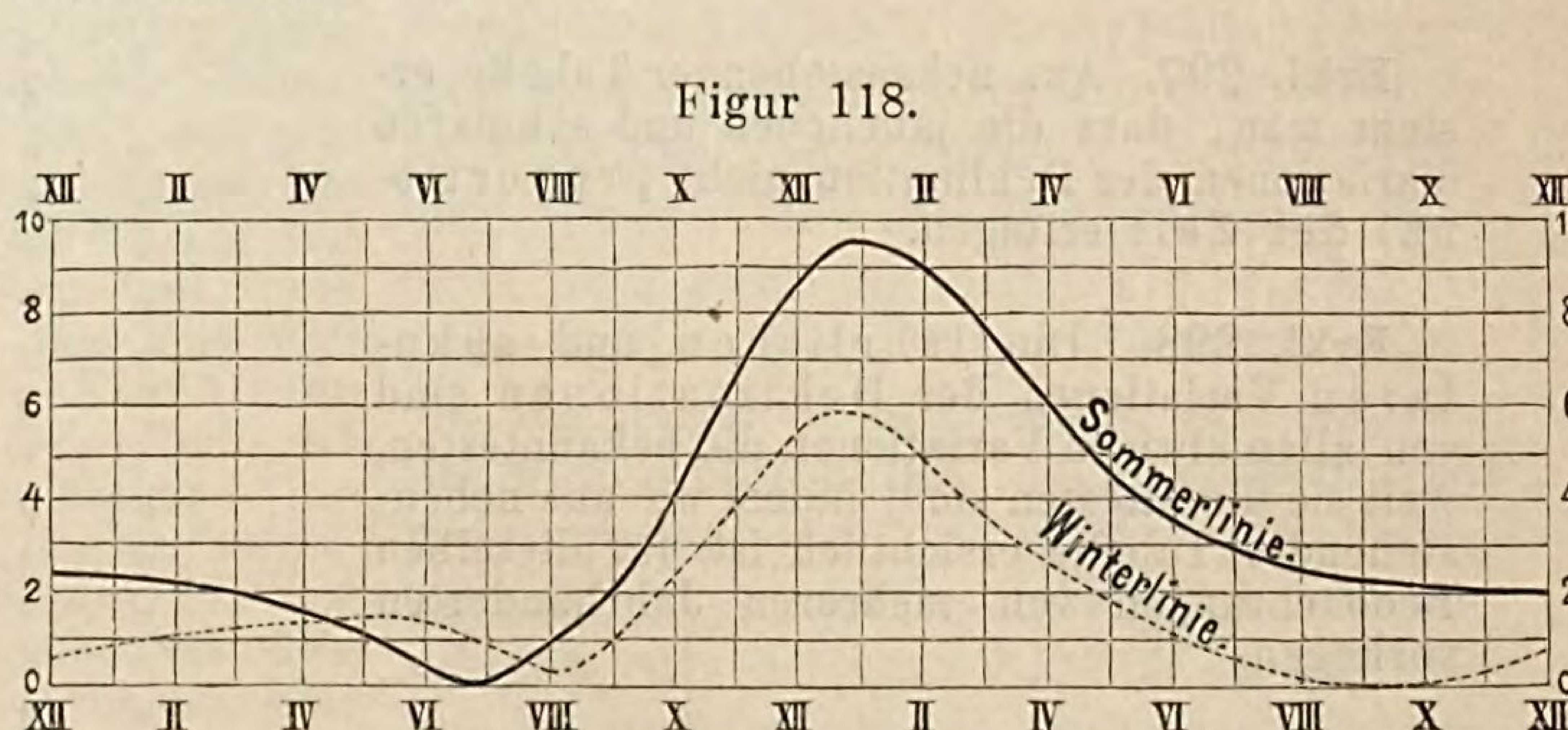
Erkl. 290. Den Charakter der täglichen Variationen der Deklinationen erkennt man sehr gut aus den von *Lamont* gemachten Aufzeichnungen, welche in umstehender Tabelle teilweise enthalten sind, und aus der durch die Figur 118 dargestellten graphischen Aufzeichnung der Kurven jener Veränderungen (siehe Erkl. 291 und 292).

Aus der umstehenden Tabelle ersieht man, dass die tägliche Veränderung der Deklination Münchens 4 Wendepunkte hat; bei zweien derselben (in den Wintermonaten um 8 Uhr morgens und 10 Uhr abends) erreicht sie ein Minimum, bei den zwei andern (um 4 Uhr morgens und 1 Uhr nachmittags) erreicht sie ein Maximum. In den Sommermonaten verschwinden zwei dieser Wendepunkte (4 Uhr morgens und 10 Uhr abends) fast vollständig und es erscheint nur noch eine Hauptperiode. Am Tage verlaufen die Aenderungen rascher und bestimmter als in der Nacht.

Erkl. 291. Der in der Erkl. 290 angegebene Umfang der täglichen Perioden bleibt nicht alle Jahre derselbe, sondern er variiert durch eine Reihe von Jahren und zwar so, dass nach *Lamont* die Maxima circa alle 10 Jahre, die Minima je um 5 Jahre später wiederkehren.

Nach Aussagen verschiedener Fachgelehrten sollen diese Perioden mit den Perioden der „Sonnenflecken“ zusammenfallen, ähnlich wie man schon oft annehmen zu können glaubte, dass periodische Variationen der Deklination (auch der Inklination und der Intensität) von dem Umlauf des Mondes abhängen würden. Hierüber fehlen jedoch noch genügende Beweise.

Figur 118.



Erkl. 292. In betreff der Figur 118 sei bemerkt, dass die unten und oben stehenden Ziffern die Tagesstunden, und zwar die ersten Ziffern von

XII zu XII die Stunden von 12 Uhr nachts bis 12 Uhr mittags, die folgenden Ziffern die Stunden von 12 Uhr mittags bis 12 Uhr nachts vorstellen; dass ferner die links und rechts vertikal übereinanderstehenden Ziffern die Grössen der mittleren stündlichen Veränderungen der Deklination (auf irgend eine Längeneinheit bezogen) darstellen.

Die ausgezogene Linie repräsentiert die sogenannte „Sommerlinie“, die punktierte die „Winterlinie“.

Erkl. 293. In den nördlicheren Gegenden von Deutschland sind im Durchschnitt die täglichen Variationen der Deklinationen bedeutender und unregelmässiger als in den südlicheren; auf dem magnetischen Aequator sind sie z. B. kaum noch zu beobachten.

Erkl. 294. Die täglichen Variationen konnten erst seit Einführung des Unifilar- und Bifilarmagnetometers mit Sicherheit nachgewiesen werden. Der Unifilar- und der Bifilarmagnetometer sind in einem späteren Abschnitte beschrieben.

Erkl. 295. Da die täglichen Variationen unter sich verschieden sind, so veranlassten *Gauss* und *Weber*, dass in 4 jährlichen Terminen gleichzeitig während eines ganzen Tages, also 24 Stunden, diese Variationen beobachtet wurden.

Tabelle,
enthaltend die von *Lamont* angegebenen Mittelwerte der täglichen Variationen der Deklination Münchens, welche sich aus dem Zeitraum von 1843—45 ergaben und vom kleinsten Werte der westlichen Deklination Münchens ab gerechnet sind:

1	Uhr	morg.	Sommermittelw.	= 2,22′,	Wintermittelw.	= 0,76′
2	„	„	„	= 2,05′,	„	= 0,98′
4	„	„	„	= 1,80′,	„	= 1,49′
6	„	„	„	= 0,52′,	„	= 1,47′
7	„	„	„	= 0,00′,	„	= 1,37′
8	„	„	„	= 0,05′,	„	= 0,47′
9	„	„	„	= 1,33′,	„	= 1,19′
10	„	„	„	= 3,73′,	„	= 2,39′
11	„	„	„	= 6,47′,	„	= 3,98′
12	„	„	„	= 8,70′,	„	= 5,28′
1	„	nachm.	„	= 9,58′,	„	= 5,56′
2	„	„	„	= 9,04′,	„	= 4,84′
3	„	„	„	= 7,67′,	„	= 3,47′
4	„	„	„	= 5,85′,	„	= 2,43′
5	„	„	„	= 4,38′,	„	= 2,06′
6	„	„	„	= 3,41′,	„	= 1,45′
8	„	„	„	= 2,54′,	„	= 0,60′
10	„	„	„	= 2,23′,	„	= 0,00′
12	„	„	„	= 2,14′,	„	= 0,44′

′ = Minuten.

Frage 117. Worin bestehen die jährlichen und säkularen Variationen der magnetischen Deklination eines Ortes?

Antwort. Bezüglich der säkularen Variationen der magnetischen Deklination beobachtete man, dass der Mittelwert der jährlichen Variationen allmählichen, durch Jahrhunderte fortgehenden, an sich ziemlich bedeutenden Veränderungen, den sogenannten säkularen Veränderungen unterworfen sind.

Soweit die Aufzeichnungen, z. B. für Paris reichen, war die Deklination daselbst:

im	Jahre	1580	=	11°30′	östlich,
„	„	1618	=	8°0′	„
„	„	1663	=	0°0′	—
„	„	1678	=	1°30′	westlich,
„	„	1700	=	8°10′	„
„	„	1767	=	19°16′	„
„	„	1780	=	19°55′	„
„	„	1785	=	22°0′	„
„	„	1805	=	22°5′	„
„	„	1813	=	22°25′	„
„	„	1814	=	22°34′	„
„	„	1818	=	22°22′	„
„	„	1819	=	22°29′	„
„	„	1824	=	22°23′	„
„	„	1825	=	22°17′	„
„	„	1828	=	22°6′	„
„	„	1835	=	22°4′	„

Erkl. 296. Wie aus nebenstehender Tabelle ersichtlich ist, war ungefähr bis Ende des zweiten Drittels des 17. Jahrhunderts die Deklination in Europa eine östliche, wurde dann eine westliche und erreicht 1814, also zu Anfang unseres Jahrhunderts ihr westliches Maximum. Seit 1814 hat die westliche Deklination fortwährend abgenommen und beträgt gegenwärtig in Deutschland nur noch zwischen 12 bis 17° (siehe Erkl. 264).

Erkl. 297. Aus nebenstehender Tabelle ersieht man, dass die jährlichen und säkularen Variationen der Deklination nicht proportional der Zeit erfolgen.

Erkl. 298. Die jährlichen und säkularen Variationen der Deklinationen sind von allen übrigen Variationen die bekanntesten, weil sie die ältesten sind, indem wie aus nebenstehender Tabelle ersichtlich ist, für dieselben Beobachtungen von mehreren Jahrhunderten vorliegen.

Erkl. 299. Der berühmte norwegische Astronom *Christopher Hansteen*, geb. 26. Sept. 1784

in Christiania, hat für drei Epochen, nämlich für die Jahre 1600, 1700 und 1800 die Isogonen gezeichnet und in einer Karte zusammengestellt. Die Karte V stellt einen Auszug dieser Karte dar, sie enthält nur die Linien ohne Abweichung für diese drei Jahrhunderte und sind die säkularen Veränderungen, welche diese Linien während dieser Zeit machten, aus dieser Karte leicht zu erkennen.

Erkl. 300. Nach den Bestimmungen *Lamonts* betrug in München:

im	Jahre	1841	die	Deklination	16° 57,5′
„	„	1842	„	„	16° 50,4′
„	„	1843	„	„	16° 43,4′
„	„	1844	„	„	16° 37,1′
„	„	1845	„	„	16° 30,4′
„	„	1846	„	„	16° 23,5′
„	„	1847	„	„	16° 17,4′
„	„	1848	„	„	16° 10,3′
„	„	1849	„	„	16° 2,5′
„	„	1850	„	„	15° 53,9′
„	„	1851	„	„	15° 47,4′
„	„	1852	„	„	15° 40,1′

aus welchen Angaben das Mittel der jährlichen Veränderung für die Jahre 1841—52 berechnet werden kann. Man erhält für das Mittel der jährlichen Veränderung der Deklination Münchens 6,13 Minuten westlicher Abnahme.

im	Jahre	1849	= 20°34′	westlich,
„	„	1851	= 20°25′	„
„	„	1852	= 20°20′	„
„	„	1858	= 19°36′	„
„	„	1874	= 17°30′	„

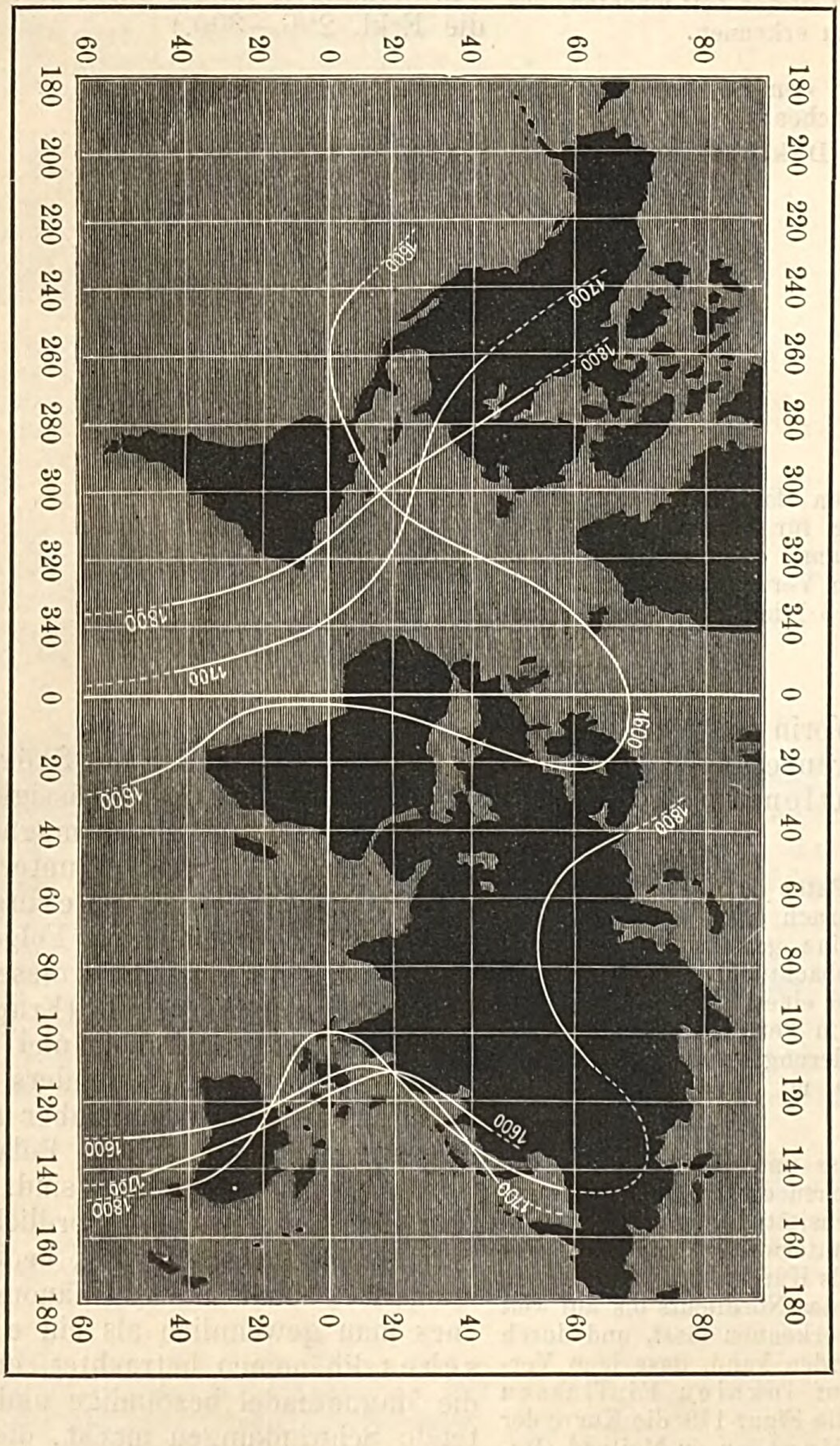
und nimmt gegenwärtig unter grossen Schwankungen immer mehr ab. (Siehe die Erkl. 296—300.)

Frage 118. Worin bestehen die unregelmässigen Veränderungen, die sogenannten Deklinationsstörungen?

Erkl. 301. Der Pater *de la Torre* beobachtete bei einem Ausbruch des Vesuvs, dass die Deklinationsnadel eine ganz andre Lage annahm. Aehnliche Beobachtungen machte *Lamont* in München während eines Erdbebens in Griechenland. *Kupffer* in Petersburg konstatierte eine Deklinationsänderung infolge des Einflusses des Mondes u. a. m.

Erkl. 302. *Gauss* und *Weber* stellten die Veränderungen, welchen die Deklination (auch Inklination und Intensität) infolge des Einflusses des Nordlichts unterworfen sind, auf graphische Weise mittels Kurven dar, aus welchen sich die Einwirkung des Nordlichts bis auf weit entfernte Gegenden erkennen lässt, und durch welche bewiesen werden kann, dass jene Veränderungen nicht auf lokalen Einflüssen beruhen. So stellt die Figur 119 die Kurve der Störungen der Deklination zu Mailand (Italien), Göttingen (Deutschland), Upsala (Schweden) dar, welche am 27. Februar 1841 eintraten. Aus der Figur 119 erkennt man, dass die Störungen der Deklination für die drei Orte gleichartig waren, jedoch von Süden nach Norden an Stärke zunahmen.

Antwort. Bezüglich der Störungen, durch welche die Regelmässigkeit der täglichen Variationen der magnetischen Deklination plötzlich unterbrochen werden und welche eine permanente Veränderung derselben zur Folge haben kann, beobachtete man, dass dieselben bei vulkanischen Ausbrüchen (Eruptionen), Erdbeben, bei plötzlichem und starkem Temperaturwechsel, besonders in den Polarregionen, eintreten, aber namentlich auf den Einfluss des Polar- oder Nordlichts zurückzuführen sind. In betreff des Einflusses des Nordlichts, worauf *Arago* zuerst hinwies, beobachtete man, dass sobald dieses Phänomen, welches man gewöhnlich als ein elektrisches Phänomen betrachtet, erscheint, die Magnetnadel beständige und bedeutende Schwankungen macht, die um so bedeutender sind, je näher das Nordlicht ist und um so intensiver es erscheint, die aber auch noch in Gegenden beobachtet werden, welche weit entfernt von dem Nordlicht sind und für



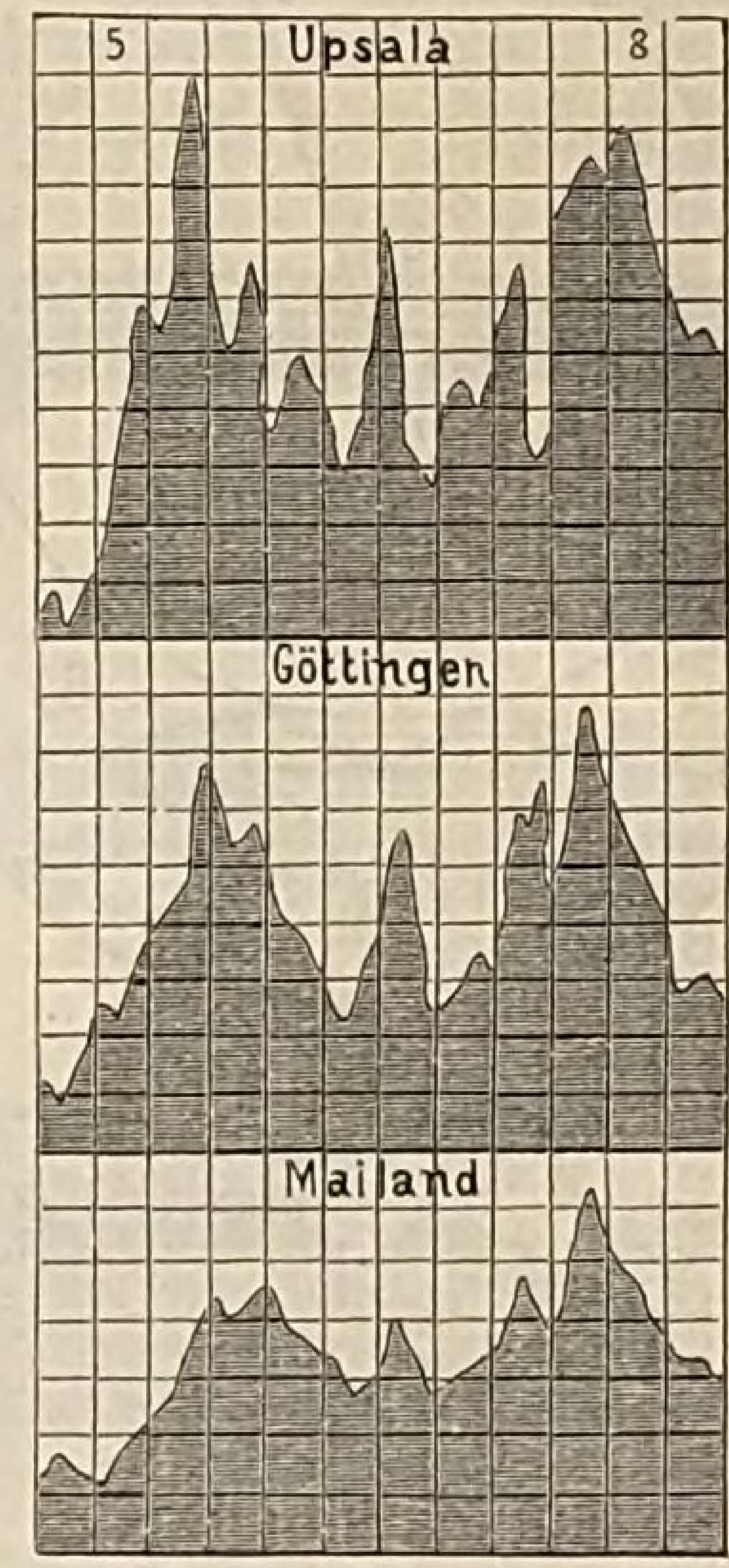
Karte V. Hansteens Karte
der Linien gleicher Deklination für die Jahre 1600, 1700 und 1800
(säkulare Veränderung der magnetischen Deklination).

welche das Nordlicht nicht mehr sichtbar ist; ob nun beide Erscheinungen abhängig von einander sind oder eine gemeinsame tiefere Ursache haben, das bleibt noch dahingestellt.

Erkl. 303. Bei den plötzlich eintretenden Störungen der magnetischen Deklination beträgt die Amplitude (siehe Erkl. 288) oft mehr als 1°. Die Berechnung jener Störungen ist nicht möglich, indem sie jeder Gesetzmässigkeit entbehren.

Erkl. 304. Die grössten Störungen treten im Sommer, im allgemeinen in den Monaten April, Juli, September und Oktober, also zu den Zeiten der Aequinoctien und des Sommersolstitiums auf.

Figur 119.



6). Ueber die magnetische Inklination.

a). Bestimmung der magnetischen Inklination eines Ortes.

(Inklinatorium.)

Frage 119. Welcher Instrumente bedient man sich zur direkten Bestimmung der magnetischen Inklination eines Ortes und worin besteht deren Einrichtung?

Erkl. 305. Die Messung der Inklination mittels einer Inklinationsnadel kann nicht mit der Schärfe stattfinden, als dies bei der Deklinationsbestimmung der Fall ist, indem das Gewicht der Inklinationsnadel auf die horizontale Drehaxe drückt und eine entsprechende Reibung verursacht, deshalb wird in den meisten Fällen die magnetische Inklination eines Ortes auf indirektem Wege, wie in einem späteren Abschnitt gezeigt wird, bestimmt. (Siehe auch die Erkl. 182.)

Erkl. 306. Der Engländer *Robert Normann* soll der erste gewesen sein, der im Jahre 1576 ein Inklinatorium konstruiert hatte, deshalb wird ihm auch oft die Entdeckung der Inklination selbst zugeschrieben. Man weiss aber

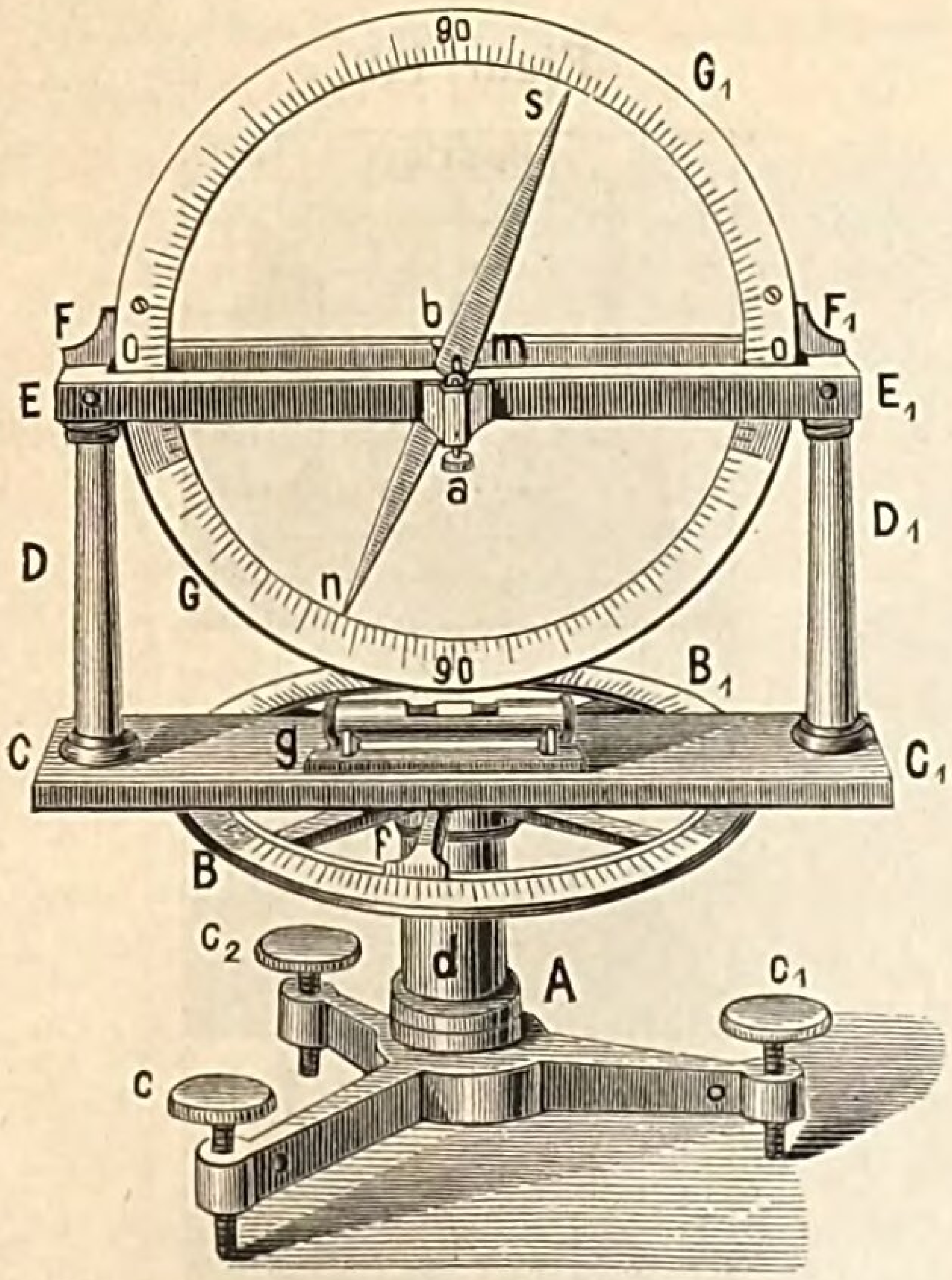
Antwort. Zur direkten Bestimmung (siehe Erkl. 305) der magnetischen Inklination eines Ortes benutzt man die sogenannten „Inklinatorien“ oder „Inklinationsbussolen“.

Die Einrichtung eines solchen Instruments, siehe Figur 120, ist folgende:

Auf dem mit den drei Stellschrauben c, c_1 und c_2 versehenen Dreifuss A ruht der in Grade eingeteilte feste Horizontalkreis BB_1, welcher sich ähnlich wie der Horizontalkreis beim Theodolit, siehe die Figur 96, mittels jener Stellschrauben in eine horizontale Ebene bringen lässt. Auf dem Horizontalkreis BB_1 ruht die rechteckige Platte CC_1, welche sich mittels einem in der Hülse d des Dreifusses A ruhenden eingelassenen

bestimmt, dass schon im Jahre 1544 *Georg Hartmann*, Vikar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inklination der Magnetnadel kannte und auch auf dieselbe hingewiesen hatte.

Figur 120.



Erkl. 307. *Meyerstein* in Göttingen hat sehr brauchbare Inklinatorien angefertigt; bei denselben ist die Gradeinteilung auf eine circa 300 mm Durchmesser enthaltende Scheibe von Spiegelglas eingeschnitten. Das Spiegelglas hat den Zweck, die Stellung der Inklinationsnadel über der Gradeinteilung richtig beobachten, bezw. um sich selbst kontrollieren zu können, ob beim Ablesen der Gradeinteilung auch der durch die Spitze der Nadel gehende Sehstrahl senkrecht auf die Gradeinteilung gerichtet ist. Dies findet nämlich bei Anwendung von Spiegelglas statt, wenn man die Spitze der Nadel in der Pupille seines durch den Spiegel gegebenen Bildes sieht.

Erkl. 308. Der Vertikalkreis GG_1 in Figur 120 ist in vier Quadranten, jeder derselben in 90° (bei neuer Teilung in 100°) eingeteilt. Der Vertikalkreis selbst ist so angebracht, dass bei Horizontalstellung des Instruments der von 0° bis 0° zeigende Durchmesser desselben ebenfalls eine horizontale Lage annimmt.

Konus um eine (bei der Horizontalstellung des Kreises BB_1, bezw. der Platte CC_1) vertikale Axe drehen lässt; mittels des an der Platte CC_1 befestigten Nonius f kann man an der Gradeinteilung des Horizontalkreises BB_1 die Grösse einer solchen Drehung ablesen. Die auf der Platte angebrachte Libelle g dient zur Kontrolle bei der erwähnten Horizontalstellung. Auf der Platte CC_1 sind die messingenen Träger DD_1 angebracht, auf welchen die beiden, die Lager der durch den Schwerpunkt der Inklinationsnadel ns gehenden Drehungsaxe ab enthaltenden und zur Verminderung der Reibung aus Achat (Quarz) bestehenden Platten EE_1 und FF_1 ruhen. Die Drehungsaxe ab der Inklinationsnadel (siehe Fig. 80 und 63) ist von Stahl, nicht sehr dick und geht durch den Mittelpunkt des von 90° zu 90° eingeteilten Vertikalkreises GG_1, welcher an den Verbindungsstücken EF und E_1F_1 befestigt ist und zwar so, dass dessen Ebene bei Horizontalstellung der Platte CC_1 (bezw. des Horizontalkreises BB_1) stets eine vertikale Lage zu derselben annimmt, daher sein Name „Vertikalkreis.“ Die Drehungsebene, welche die Inklinationsnadel ns bei einer Drehung um die Axe ab beschreibt, muss mit der vertikalen Ebene des Vertikalkreises GG_1 zusammenfallen.

Frage 120. Auf welche Weise wird mittels des Inklinatoriums die magnetische Inklination eines Ortes bestimmt?

Erkl. 309. Ist die Inklinationsnadel nicht genau zentrisch aufgehängt, d. h. geht die

Antwort. Zur Bestimmung der magnetischen Inklination eines Ortes mittels des in voriger Antwort beschriebenen Inklinatoriums, siehe Figur 120, wird dasselbe zunächst mittels der Stell-

Drehaxe nicht genau durch den Mittelpunkt des Vertikalkreises GG_1 (siehe Figur 120), so erkennt man dies dadurch, wenn die Ablesungen der Gradeinteilung am Süd- und am Nordende der Nadel nicht genau denselben Winkel ergeben, was meistens der Fall sein wird. Um diesen Fehler teilweise zu kompensieren (lat., entfernen, beseitigen), nimmt man das arithmetische Mittel aus beiden Ablesungen am Süd- und am Nordende der Nadel.

Erkl. 310. Ob bei Horizontalstellung des Instruments der Durchmesser des Vertikalkreises GG_1, siehe Figur 120, welcher durch die Teilpunkte von 0° zu 0° der Gradeinteilung geht, auch genau in eine Horizontalebene zu liegen kommt, erkennt man dadurch, indem man den Vertikalkreis, bezw. die Platte CC_1 um 180° dreht und untersucht, ob auch in dieser Stellung des Vertikalkreises die Inklination dieselbe wie vorhin ist. War nun jener Durchmesser nicht genau horizontal und die Inklination in der ersten Stellung zu klein gefunden worden, als die wirkliche Inklination ist, so findet man sie in der zweiten Stellung um dasselbe zu gross. Nimmt man daher aus diesen beiden Resultaten ebenfalls das arithmetische Mittel, so ist auch dieser Fehler kompensiert.

Erkl. 311. Zur Untersuchung, ob die geometrische Axe der Nadel ns, siehe Figur 120, mit der magnetischen Axe zusammenfällt, benutzt man die in der Erkl. 241, Seite 85, bereits angeführte „Methode des Umlegens." Nachdem die erste Ablesung gemacht ist, hebt man nämlich die Nadel aus ihren Lagern und legt sie wieder so hinein, dass die Seite der Nadel, welche vorher die westliche war, nunmehr die östliche wird. Bei einer Verschiedenheit der hiernach gemachten Ablesungen nimmt man aus beiden das arithmetische Mittel.

Erkl. 312. Zur Untersuchung, ob die Drehungsaxe ab, siehe Figur 120, genau durch den Schwerpunkt m der Nadel ns geht, bestimmt man zuerst die Inklination wie früher angegeben, magnetisiert alsdann, wie bereits in der Erkl. 182 und in der Erkl. 151, Seite 55 erwähnt ist, die Nadel so um, dass das Ende, welches vorher den Südpol enthielt, nunmehr den Nordpol enthält.

Ergibt sich alsdann nach nunmehriger Ablesung nicht dieselbe Inklination wie vorher, so geht die Drehungsaxe nicht genau durch den Schwerpunkt und man nimmt wiederum zur Kompensation dieses Fehlers aus beiden Resultaten das arithmetische Mittel.

schrauben c, c_1 und c_2 vollkommen horizontal gestellt, was man dadurch erkennt, wenn bei jeder Drehung der um eine vertikale (in der Figur nicht sichtbare) Axe drehbaren Platte CC_1 die Libelle g einspielt. Dann wird die Platte CC_1 mitsamt dem mit ihr fest verbundenen Vertikalkreis GG_1 so weit um jene gedachte vertikale Axe gedreht, bis die Ebene des Vertikalkreises möglichst genau mit der magnetischen Meridianebene des Ortes zusammenfällt.

Da nun die magnetische Inklination eines Ortes der Winkel ist, welchen die magnetische Axe einer vollständig frei schwingenden, bezw. einer im magnetischen Meridian des Ortes schwingenden Magnetnadel mit der durch ihren Schwerpunkt gehenden horizontalen Linie bildet, so kann man bei einem so aufgestellten Instrument, infolge der besonderen Gradeinteilung des Vertikalkreises (siehe Erkl. 308) an der Stelle desselben, auf welche die untere (oder auch die obere) Spitze der in Ruhe befindlichen Inklinationsnadel zeigt, direkt den Winkel ablesen, welcher der magnetischen Inklination des Ortes entspricht.

Diese einfache Art der direkten Bestimmung der Inklination eines Ortes liefert an sich ein ziemlich ungenaues Resultat, indem sich, meistens infolge der schwierigen Herstellung des Instruments (siehe Erkl. 182, Seite 66) mancherlei Fehler einschleichen, so kann z. B.:

1). die Nadel nicht genau zentrisch aufgehängt sein, d. h. die Drehaxe der Nadel geht nicht genau durch den Mittelpunkt des Vertikalkreises (siehe Erkl. 309); dann kann

2). der Durchmesser des Vertikalkreises, welcher durch die Teilpunkte von 0° zu 0° der Gradeinteilung geht, nicht genau in einer Horizontalebene zu liegen kommen (s. Erkl. 310); ferner kann

3). die geometrische Axe der Nadel nicht genau mit der magnetischen Axe derselben zusammenfallen (siehe Erkl. 310); schliesslich kann

4). die Drehungsaxe der Nadel nicht genau durch deren Schwerpunkt gehen (siehe Erkl. 312); endlich können noch

5). Fehler aus der Reibung der Axe entspringen (siehe Erkl. 313), indem durch dieselbe die Beweglichkeit der Nadel mehr oder weniger gehindert ist, welche Fehler nach den in den Erkl. 309—313 gegebenen Methoden erkannt und kompensiert werden können.

Was nun noch das möglichst genaue Einstellen des Vertikalkreises GG_1 in die magnetische Meridianebene des Ortes anbetrifft, so müsste zu diesem Zwecke vorher die Lage dieser magnetischen Meridianebene genau bestimmt werden (siehe den Abschnitt 5); man kann dies jedoch auch mittels des Inklinatoriums selbst ausführen.

Dreht man nämlich eine frei aufgehängte Inklinationsnadel (siehe Fig. 63 und die Erkl. 151, Seite 55) so, dass man an ihr auch die Neigung beobachten kann, welche sie in andern Vertikalebenen als in der magnetischen Meridianebene mit der Horizontalebene des Ortes bildet, so findet man, dass diese Neigung grösser als die wirkliche Inklination ist und dass sie $= 90^0$ wird, wenn die Inklinationsnadel in der vertikalen Ebene zu liegen kommt, die senkrecht zur magnetischen Meridianebene ist. Diese Eigenschaft benutzt man zur Bestimmung des magnetischen Meridians mittels des Inklinatoriums. Man dreht zu diesem Zwecke den Vertikalkreis GG_1 so lange, bis die Inklinationsnadel ns eine vertikale Lage einnimmt, dann merkt man sich mittels des Nonius f auf dem Horizontalkreis BB_1 die Gradeinteilung und dreht den Vertikalkreis GG_1 von da ab um 90^0, wonach die Ebene des Vertikalkreises GG_1 mit der Ebene des magnetischen Ortsmeridians zusammenfallen muss (siehe Erkl. 314).

Erkl. 313. Um etwaige Fehler, die infolge der Reibung der Axe ab, siehe Figur 120, auftreten können, zu kompensieren, wiederholt man die erwähnten Beobachtungen mehreremale, indem man jedesmal die Nadel vorher durch stärkeres oder schwächeres Anstossen in Schwingungen versetzt und aus allen Beobachtungen das arithmetische Mittel nimmt. Man kann nämlich annehmen, dass die zur Ruhe gekommene Nadel in den verschiedenen Lagen, die sie infolge der Reibung der Axe annimmt, einmal ebensoweit über, als sie einmal unter der wahren Inklinationsrichtung stehen geblieben ist.

Erkl. 314. Der Grad der Genauigkeit, welcher mit der in nebenstehender Antwort erwähnten Bestimmung der magnetischen Meridianebene mittels des Inklinatoriums erreicht wird, hängt wiederum von den mannigfachen bereits erwähnten Fehlern des Instruments selbst ab, ist somit stets ein ziemlich zweifelhafter. Man suchte deshalb, und weil auch die Herstellung entsprechender zuverlässiger Inklinatorien sehr kostspielig ist und solche Instrumente für den öfteren Transport nicht geeignet sind, die Inklination auf indirektem Wege zu bestimmen. Die diesbezüglichen Methoden sind in einem Abschnitt des II. Teils behandelt.

b). Ueber die magnetische Inklination an verschiedenen Orten der Erde.
(Inklinationskarten.)

Frage 121. Ist die magnetische Inklination an allen Orten der Erde dieselbe?

Antwort. Die magnetische Inklination ist, wie die magnetische Deklination (siehe Antwort der Frage 111) fast an

Erkl. 315. Die magnetische Inklination Deutschlands beträgt gegenwärtig zwischen 60 und 70°.

Erkl. 316. Kapitän *Philipps* beobachtete im Jahre 1773 unter 69° 44′ nördl. Breite eine Inklination von 82° 9′. *Parry* beobachtete unter 69° 47′ nördl. Breite eine Inklination von 88° 43′. Kapitän *Ross* beobachtete unter 70° 5′ nördl. Breite und 263° 15′ Länge von Greenwich eine Inklination von 90°. (Siehe die Erkl. 280.)

Erkl. 317. Die Neigung der Magnetnadel wird in der Nähe der geographischen und magnetischen Pole so gross, dass sich eine Deklinationsnadel (siehe Antwort der Frage 85 und die Erkl. 65) nicht mehr herstellen lässt, wodurch auch der Kompass, dessen wesentlichster Bestandteil die Deklinationsnadel ist, in der Nähe der Pole seine Brauchbarkeit verliert.

jedem Ort der Erde eine andre. Die Grösse der Inklination nimmt im allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; sie nimmt ab, je weiter man nach dem Süden, nach der Aequatorialzone, kommt. (Siehe die Erkl. 315 bis 317.)

Frage 122. Was versteht man unter einer sogen. „Inklinationskarte“?

Erkl. 318. Die Inklinationskarten sind viel neueren Ursprungs als die Deklinationskarten.

Erkl. 319. Die Karten VI und VII auf den folgenden Seiten stellen sogenannte „Inklinationskarten“ dar.

Die Karte VI stellt, wie die Karte I, den Teil der Erdoberfläche, der zwischen dem 85° nördlicher und dem 60° südlicher Breite liegt, mit den isoklinischen Linien nach *Mercators* Projektionsart (siehe Erkl. 267) dar. Die Grösse der entsprechenden Inklination ist den betreffenden Linien beigedruckt. Die mit „0“ bezeichnete und stark ausgezogene Isokline enthält die Orte, an welchen die magnetische Axe der Inklinationsnadel in die Horizontalebene des betreffenden Ortes fällt, in welchen also die Inklination = 0 ist und welche dementsprechend den besonderen Namen „Linie ohne Inklination“ oder nach griechischer Bezeichnung den Namen „Akline“ führt; sie wird auch „magnetischer Aequator der Erde“ genannt.

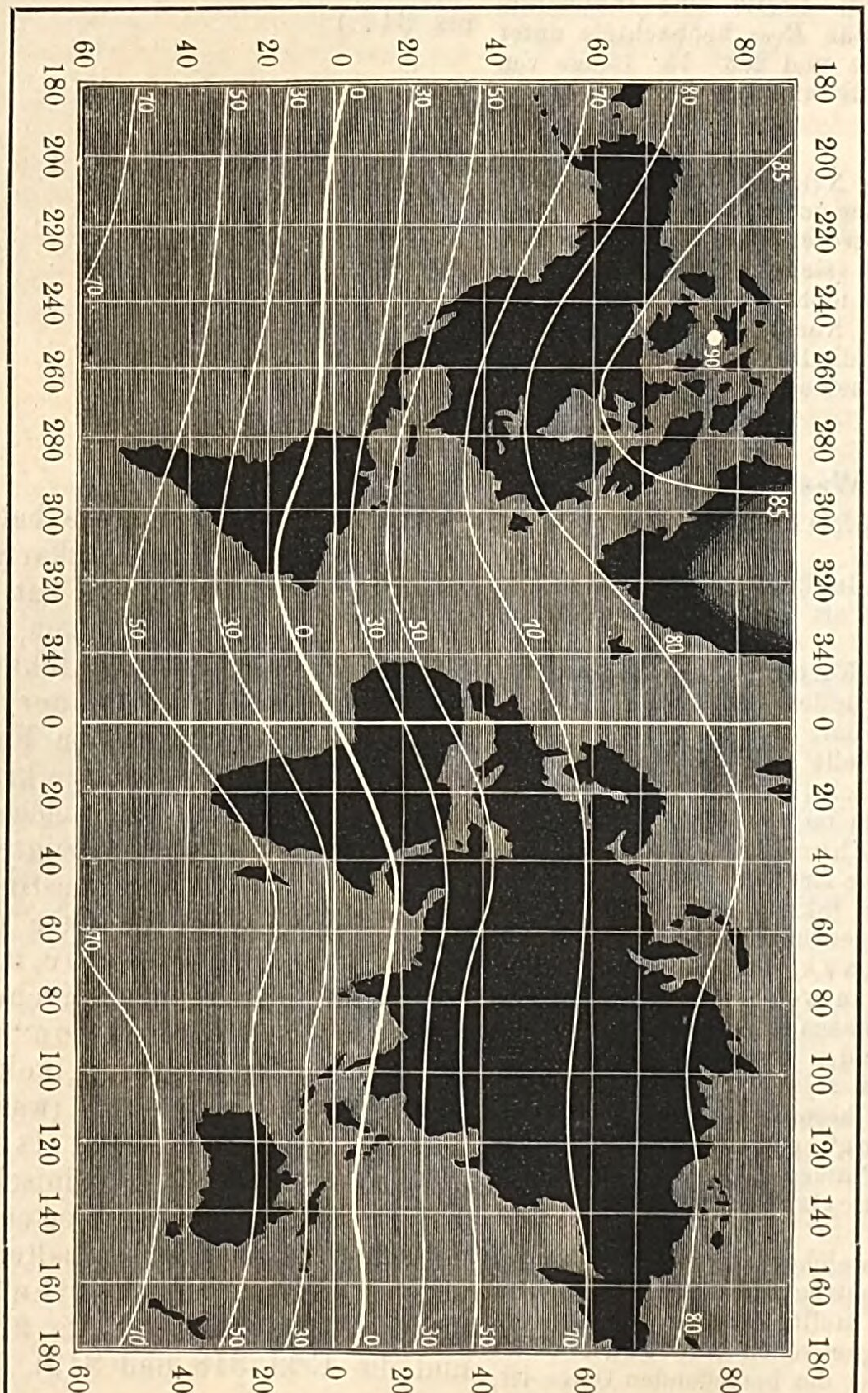
Die Punkte, in welchen die magnetische Inklination = 90° beträgt, in welchen sich also die Nadel vertikal stellt, bezw. in welchen die Richtung der magnetischen Axe senkrecht zur Horizontalebene des betreffenden Ortes ist, fallen mit den magnetischen Polen der Erde (siehe Erkl. 280, Seite 105 und Erkl. 316) zusammen.

Die Karte VII stellt, wie die Karte II, die Teile der Erdoberfläche um die beiden Pole bis zum 60° nördlicher, bezw. bis zum 60° südlicher Breite mit den isoklinischen Linien nach der stereographischen Polarprojektionsart (siehe Erkl. 267) dar. (Siehe auch die Erkl. 270, Seite 101.)

Antwort. Aehnlich wie bei der Herstellung der Deklinationskarten (siehe Antwort der Frage 112) hat man die Resultate der Beobachtungen, welche in betreff der magnetischen Inklination an den verschiedenen Orten der Erde gemacht wurden, in genauen Karten eingetragen und durch stetige krumme Linien die Orte verbunden, welche gleiche magnetische Inklination zeigten.

Die auf diese Weise bestimmten Linien, welche also die Orte der Erde, deren Inklination dieselbe ist, enthalten, nennt man dementsprechend: „Linien gleicher Inklination“ oder nach griechischer Bezeichnung: „isoklinische Linien oder Kurven“ (was dasselbe heisst), oder auch kurzweg „Isoklinen.“

Karten, welche die isoklinischen Linien mit den entsprechenden Werten der magnetischen Inklination enthalten, nannte man „Inklinationskarten“. (Siehe die Erkl. 266—268, Seite 97 und 89, und die Erkl. 318 und 319).

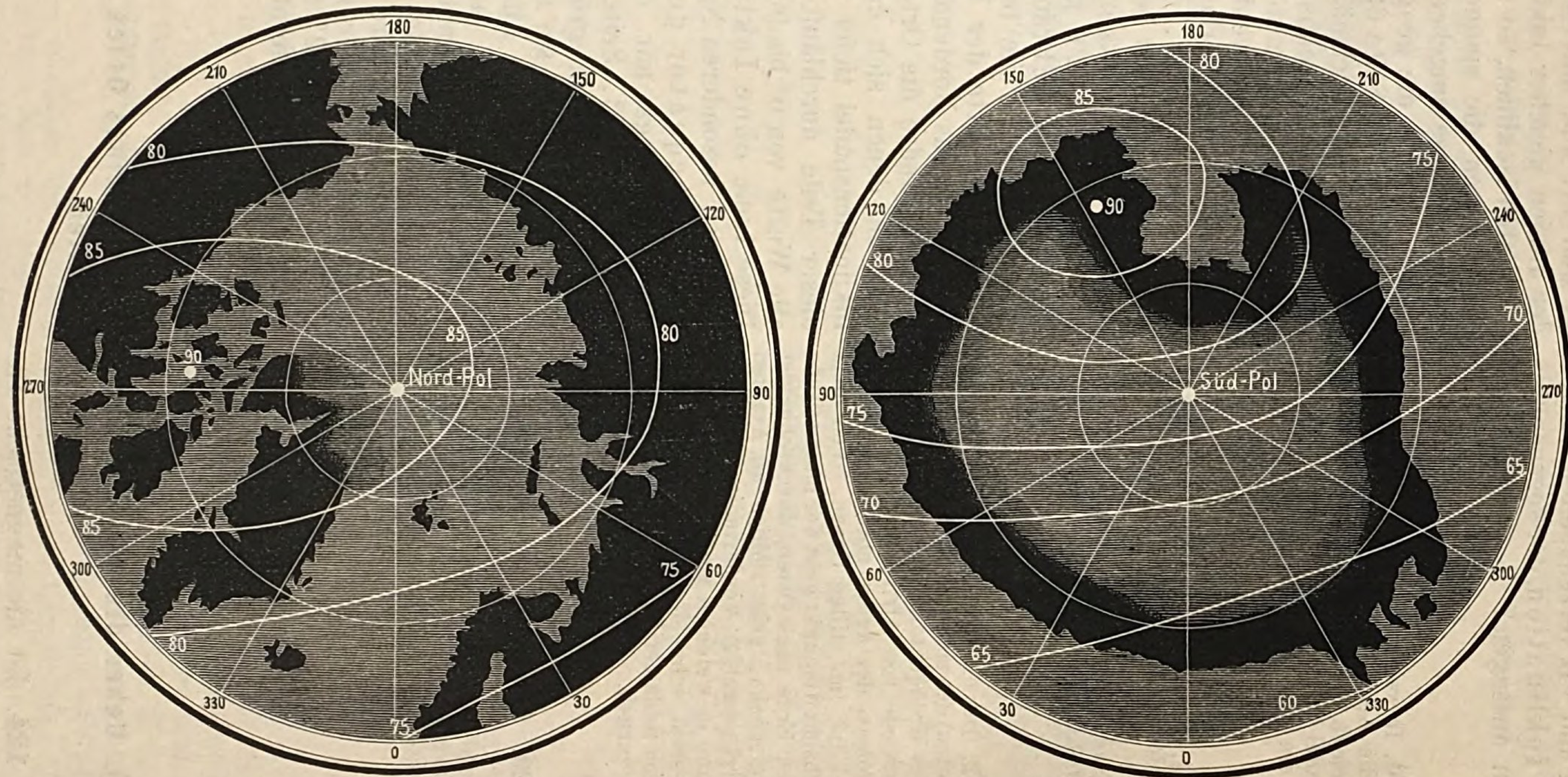


Karte VI. Inklinationskarte.

Karte der Linien gleicher Inklination, der sogen. Isoklinen, nach Mercators Projektionsart.

Karte VII. Inklinationskarte.

Karte der Linien gleicher Inklination, der sogen. Isoklinen, nach der stereographischen Polarprojektionsart.



Frage 123. Was kann man im allgemeinen über den Verlauf der in den Karten VI und VII verzeichneten Linien gleicher Inklination, der sogenannten Isoklinen aussagen?

Antwort. Betrachtet man die Karten VI und VII und untersucht den Verlauf der Linien gleicher Inklination, der sogenannten Isoklinen, so findet man, dass die Isoklinen die magnetischen Pole in ähnlicher Weise umgeben, wie die Breitekreise der Erde die geographischen Pole (siehe Erkl. 173, Seite 63), dabei jedoch nicht wie diese gleichmässig gekrümmte, sondern ganz unregelmässig gekrümmte Kurven sind, welche sich jenen Breitekreisen mehr oder weniger nähern.

In betreff des Verlaufs der Linie ohne Inklination, der sogenannten Akline, sei zunächst bemerkt, dass dieselbe eine geschlossene ringsum die Erde (siehe Erkl. 320) gehende krumme Linie ist, welche die Erdoberfläche nahezu in zwei gleiche Teile teilt, von welchen der eine die Orte der Erde enthält, in denen sich das Nordende, und von welchen der andre die Orte der Erde enthält, in denen sich das Südende der Inklinationsnadel tiefer stellt. In jedem dieser Teile durchläuft die Inklination alle Werte von 0° bis 90° (s. Erkl. 321). Diese Linie ohne Inklination, welche auch den besonderen Namen: „magnetischer Aequator der Erde“ führt, fällt keineswegs mit dem Erdäquator (siehe Erkl. 173, Seite 63) zusammen und ist auch kein grösster Kreis der Erdkugel, sondern sie ist eine unregelmässig gekrümmte Linie, welche den Erdäquator in zwei, fast diametral gegenüberstehenden Punkten (sogenannten Knoten) durchschneidet und sich in der nördlichen Hemisphäre bis gegen 20° nördl. Breite, in der südlichen Hemisphäre bis gegen 12° südl. Breite von dem Erdäquator entfernt (siehe die Erkl. 322 und 323).

Erkl. 320. In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialszone passiert, man wird stets einen Ort finden, in welchem die Inklinationsnadel horizontal stehen bleibt, welcher also ein Ort ohne Inklination ist.

Erkl. 321. Stellt sich das Nordende der Inklinationsnadel tiefer, so spricht man von einer nördlichen Inklination, stellt sich das Südende der Nadel tiefer, so spricht man von einer südlichen Inklination.

Erkl. 322. Der eine der Durchschnittspunkte (der sog. Knoten) des magnetischen Aequators der Erde und des Erdäquators liegt gegenwärtig an der Westküste von Afrika in der Nähe der Insel St. Thomas, der andre unter einer Länge von circa 170° im stillen Ozean. Von dem ersten Durchschnittspunkt geht der magnetische Aequator der Erde nach Osten, durchschneidet das mittlere Afrika, geht südlich an Arabien vorbei, durchschneidet Vorderindien und den stillen Ozean, in welchem sie den Erdäquator zum zweitenmal schneidet, geht dann durch die Mitte von Südamerika nach der Westküste von Afrika zurück.

Erkl. 323. *Duperrey* hat die Gestalt des magnetischen Aequators für das Jahr 1832 dadurch ziemlich genau festgestellt, dass er in genauen Karten an 270 Orten die an denselben bestimmten Inklinationen eintrug.

c). Ueber die magnetische Inklination eines Ortes zu verschiedenen Zeiten.

Frage 124. Ist die magnetische Inklination an einem und demselben Ort zu jeder Zeit dieselbe?

Antwort. Die magnetische Inklination an einem und demselben Orte

Erkl. 324. Die Schwankungen und Veränderungen der magnetischen Inklination sind viel weniger bekannt als die der Deklination, indem sie sich nicht direkt mit der Genauigkeit beobachten lassen als letztere und weil auch die darüber bestehenden Aufzeichnungen neueren Datums sind.

Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Inklination findet man näheres in einem Abschnitt des II. Teils.

Erkl. 325. Während die Inklination in manchen Gegenden, gegenwärtig so z. B. auf St. Helena, zunimmt, nimmt sie in andern Gegenden, wie z. B. in Deutschland, wo sie nach den Beobachtungen *Lamonts* in München im Jahre 1841 = 65° 22′, im Jahre 1852 = 64° 54′ betrug, jährlich um circa 2—3 Minuten ab.

ist nicht zu jeder Zeit dieselbe; sie ist wie die magnetische Deklination beständigen Schwankungen und Veränderungen unterworfen. (Siehe die Erkl. 324 u. 325 und die Erkl. 283 u. 284, Seite 105 u. 106.)

Frage 125. In welche verschiedene Arten kann man die Schwankungen und Veränderungen der magnetischen Inklination eines und desselben Ortes einteilen?

Antwort. Die Veränderungen, welchen die magnetische Inklination eines Ortes unterworfen ist, kann man wie die der Deklination (siehe Erkl. 285, Seite 106) einteilen:

1). in periodische Veränderungen, worunter die sogen. täglichen Veränderungen oder täglichen Variationen zu rechnen sind;

2). in regelmässige Veränderungen, das sind solche, welche meistens durch Jahre und auch Jahrhunderte langsam fortschreiten und deshalb auch jährliche oder säkulare Veränderungen, Variationen genannt werden und die auch periodisch sein können; und

3). in unregelmässige Veränderungen, das sind solche, welche an keine bestimmte Zeit und keine bestimmte Grenze gebunden sind und kurzweg den Namen „Inklinationsstörungen“ führen. (Siehe die Erkl. 286 und 287, Seite 106.)

Frage 126. Worin bestehen die täglichen Variationen der magnetischen Inklination eines Ortes?

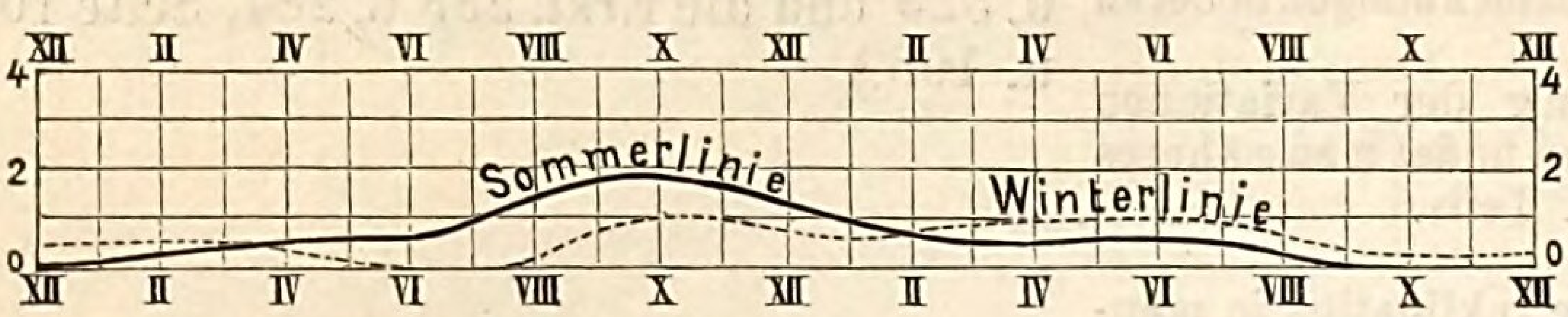
Erkl. 326. Die tägliche Variation der Inklination wurde zuerst im Jahre 1772 von *Graham* beobachtet.

Erkl. 327. Der Charakter der täglichen Variation der Inklination lässt sich sehr gut aus den von *Lamont* gemachten Aufzeichnungen, welche in umstehender Tabelle enthalten sind und aus den durch die Figur 121 darge-

Antwort. Bezüglich der täglichen Variationen der magnetischen Inklination eines Ortes beobachtete man, dass die Amplituden (siehe Erkl. 288, Seite 107) dieser Variationen bedeutend geringer als die der Deklination und periodischen Veränderungen unterworfen sind, indem sie morgens um 10 Uhr ihr Maximum, abends um 10 Uhr ihr Minimum erreichen.

stellten graphischen Aufzeichnungen der Kurven jener Veränderungen erkennen. (Siehe die Erkl. 290—295, Seite 107 und die Erkl. 328.)

Figur 121.



Diese periodischen täglichen Variationen der Inklination bleiben wie die der Deklination keineswegs für jeden Tag jahraus jahrein dieselben, sondern sie sind unter sich veränderlich, weshalb man auch hier von „Mittelwerten" der täglichen Variation eines Ortes spricht (siehe die Erklärungen 326 bis 328).

Erkl. 328. In betreff der Figur 121 siehe die Erkl. 292, Seite 107.

Tabelle,

enthaltend die von *Lamont* angegebenen Mittelwerte der täglichen Variationen der Inklination, welche sich aus dem Zeitraum 1843—45 ergaben, und welche vom kleinsten Werte der Inklination Münchens ab gerechnet sind:

1	Uhr	morg.	Sommermittelw.	= 0,02′,	Wintermittelw.	= 0,27′	
2	,,	,,	,,	= 0,14′,	,,	= 0,34′	
4	,,	,,	,,	= 0,22′,	,,	= 0,12′	
6	,,	,,	,,	= 0,54′,	,,	= 0,00′	
7	,,	,,	,,	= 0,95′,	,,	= 0,02′	
8	,,	,,	,,	= 1,54′,	,,	= 0,25′	
9	,,	,,	,,	= 1,89′,	,,	= 0,61′	
10	,,	,,	,,	= 1,95′,	,,	= 0,92′	
11	,,	,,	,,	= 1,65′,	,,	= 1,07′	
12	,,	,,	,,	= 1,27′,	,,	= 0,88′	
1	,,	nachm.	,,	= 0,90′,	,,	= 0,76′	
2	,,	,,	,,	= 0,77′,	,,	= 0,85′	
3	,,	,,	,,	= 0,70′,	,,	= 0,92′	
4	,,	,,	,,	= 0,75′,	,,	= 1,02′	
5	,,	,,	,,	= 0,69′,	,,	= 0,99′	
6	,,	,,	,,	= 0,54′,	,,	= 0,89′	
8	,,	,,	,,	= 0,07′,	,,	= 0,57′	
10	,,	,,	,,	= 0,00′,	,,	= 0,31′	
12	,,	,,	,,	= 0,08′,	,,	= 0,24′	

′ = Minuten.

Frage 127. Worin bestehen die jährlichen und säkularen Variationen der magnetischen Inklination?

Antwort. Aehnlich wie die magnetische Deklination eines Ortes (siehe Antwort der Frage 117, Seite 108) jährliche und säkulare Variationen zeigt, zeigt auch die magnetische Inklination eines Ortes solche Variationen.

Soweit die Aufzeichnungen z. B. für Paris reichen, war die Inklination daselbst:

im Jahre	1671	= 75° 00′	(nördlich, s. Erkl. 321, Seite 118)
„ „	1758	= 72° 15′	
„ „	1780	= 71° 48′	
„ „	1806	= 69° 12′	
„ „	1810	= 68° 50′	
„ „	1814	= 68° 36′	
„ „	1820	= 68° 20′	
„ „	1825	= 68° 00′	
„ „	1829	= 68° 41′	
„ „	1835	= 67° 24′	

Erkl. 329. Obgleich man den früheren Beobachtungen keine besondere Genauigkeit beimessen kann, so ersieht man doch aus nebenstehenden Aufzeichnungen, dass die jährliche Inklination für Europa fortwährend im Abnehmen begriffen ist. So war z. B. in Göttingen im Jahre 1837 die Inklination = 67° 18′, in Berlin = 68° 0′, während sie jetzt an diesen Orten um einige Minuten kleiner ist. Für andre Orte der Erde ist die Inklination im Zunehmen begriffen. (Siehe die Erkl. 325.)

Erkl. 330. In betreff der säkularen Veränderung kann man aus nebenstehenden Aufzeichnungen entnehmen, dass die Abnahme im jetzigen Jahrhundert im allgemeinen geringer ist als im vorhergehenden. Ob sie periodischen Veränderungen unterliegt, lässt sich

nicht bestimmen, da die Beobachtungen nicht soweit zurückreichen; es bleibt dies der Beobachtung päterer Geschlechter überlassen.

Erkl. 331. Nach den Bestimmungen *Lamonts* betrug in München:

im J. 1841	die Inklination	65° 22,0' (nördlich)
„ „ 1842	„ „	65° 19,5'
„ „ 1843	„ „	65° 17,0'
„ „ 1844	„ „	65° 14,5'
„ „ 1845	„ „	65° 12,0'
„ „ 1846	„ „	65° 9,5'
„ „ 1847	„ „	65° 7,0'
„ „ 1848	„ „	65° 4,5'
„ „ 1849	„ „	65° 2,0'
„ „ 1850	„ „	64° 59,5'
„ „ 1851	„ „	64° 57,0'
„ „ 1852	„ „	64° 54,5',

aus welchen Angaben das Mittel der jährlichen Aenderung für die Jahre 1841—52 berechnet werden kann. Man erhält hiernach für das Mittel der jährlichen Veränderung der Inklination Münchens: 2,50 Minuten Abnahme.

im Jahre 1851 = 66° 35'
„ „ 1858 = 66° 24'
(Siehe die Erkl. 329—331 und die Erkl. 297 bis 300, Seite 108 u. 109.)

Frage 128. Worin bestehen die unregelmässigen Veränderungen, die sogenannten Inklinationsstörungen?

Erkl. 332. Im Jahre 1767 beobachtete *D. Bernouilli*, dass während eines Erdbebens die Inklination um 45 Minuten abnahm.

Antwort. Die unregelmässigen Veränderungen, die sogen. Störungen der Inklination sind auf dieselben Ursachen wie die der Deklination (siehe Antwort der Frage 118, Seite 109) zurückzuführen. (Siehe die Erkl. 332 und die Erkl. 301 bis 304, Seite 109—111.)

7). Ueber die Intensität des Erdmagnetismus.

a). Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte.

Frage 129. Was versteht man im allgemeinen unter der Intensität des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte?

Erkl. 333. Besondere Aufmerksamkeit wurde der Intensität des Erdmagnetismus erst seit der Reise *Alexander von Humboldts* im Jahre 1799 und auf dessen Antrieb gewidmet (siehe die Erkl. 283, Seite 105 und die Erkl. 348, Seite 126).

Antwort. Unter der Intensität (v. lat., Stärke) des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte versteht man im allgemeinen die Stärke der erdmagnetischen Kraft, bezw. die Stärke der Direktionskraft der Erde (siehe Antwort der Frage 79, Seite 56), mit welcher diese Kraft eine frei in ihrem Schwerpunkt aufgehängte Magnetnadel in der von ihr einmal angenommenen Lage zu halten sucht.

Frage 130. Auf welche Weise versuchte man die Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes zu bestimmen?

Erkl. 334. Ausführliches über die Pendelgesetze und über die Bestimmung der Schwerkraft der Erde findet man in Kleyers Lehrbuch der Mechanik.

Erkl. 335. Versetzt man eine Magnetnadel, einerlei ob Deklinations- oder Inklinationsnadel, in Schwingungen und überlässt sie sich selbst, so macht sie infolge des Einflusses des Erdmagnetismus solche Schwingungen, die denselben Gesetzen unterworfen sind, als die eines Pendels, das seine Schwingungen infolge des Einflusses der Schwerkraft der Erde macht (siehe Antwort der Frage 133).

Ausführliches über die Schwingungsbeobachtungen einer Magnetnadel findet man im zweiten Teil des Magnetismus.

Erkl. 336. Die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus an den verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten ermöglichte es erst, dass man sich, wie später gezeigt wird, einen Begriff von dem magnetischen Zustand der Erde machen und eine Theorie des Erdmagnetismus aufstellen konnte, durch welche sich die magnetischen Erscheinungen erklären lassen.

Antwort. Aehnlich wie die Grösse der Schwerkraft der Erde mittels der Methode der Schwingungen eines Pendels bestimmt wurde (siehe Erkl. 334), versuchte man auch die Intensität des Erdmagnetismus mittels der sogenannten Methode der Schwingungen einer Magnetnadel (siehe Erkl. 335), welche im allgemeinen in folgendem besteht, zu bestimmen.

Versetzt man nämlich eine völlig frei in ihrem Schwerpunkt aufgehängte Magnetnadel in Schwingungen und beobachtet, nachdem die Nadel die ersten, infolge des Anstossens hervorgerufene Schwingungen überwunden hat und nur ruhige Schwingungen macht, die Zahl der Oscillationen, welche sie in einer bestimmten Zeit macht, so wird man finden, dass die Anzahl der Oscillationen in dieser Zeit stets dieselbe bleibt, so oft man auch das Experiment mit derselben Nadel, an demselben Ort und an demselben oder in den nächsten darauf folgenden Tagen wiederholt. Geht man hingegen mit derselben Nadel nach einem andern, z. B. nach einem südlicheren Orte und wiederholt da das Verfahren, so wird man finden, dass in derselben Zeit, wie bei den früheren Beobachtungen, die Anzahl der Oscillationen eine andre (geringere) ist, was zu dem Schlusse führte, dass auch die Intensität des Erdmagnetismus an beiden Orten eine verschiedene ist und dass die Intensität des Erdmagnetismus, welcher sich an einem bestimmten Orte offenbart, durch die Schwingungen einer frei in ihrem Schwerpunkt aufgehängten Magnetnadel bestimmt werden kann. (Siehe die Erkl. 334—336 und die Antworten der Fragen 131—134.)

Frage 131. Was versteht man unter der „Totalintensität“ und was unter der „Horizontalintensität“ des Erdmagnetismus?

Antwort. Da die Beobachtung der Schwingungen einer vollständig frei in ihrem Schwerpunkt aufgehängten Magnetnadel, siehe Figur 63, Seite 54, an sich sehr schwierig ist und da ausserdem die feinen Schwingungen einer solchen Inklinationsnadel durch die infolge

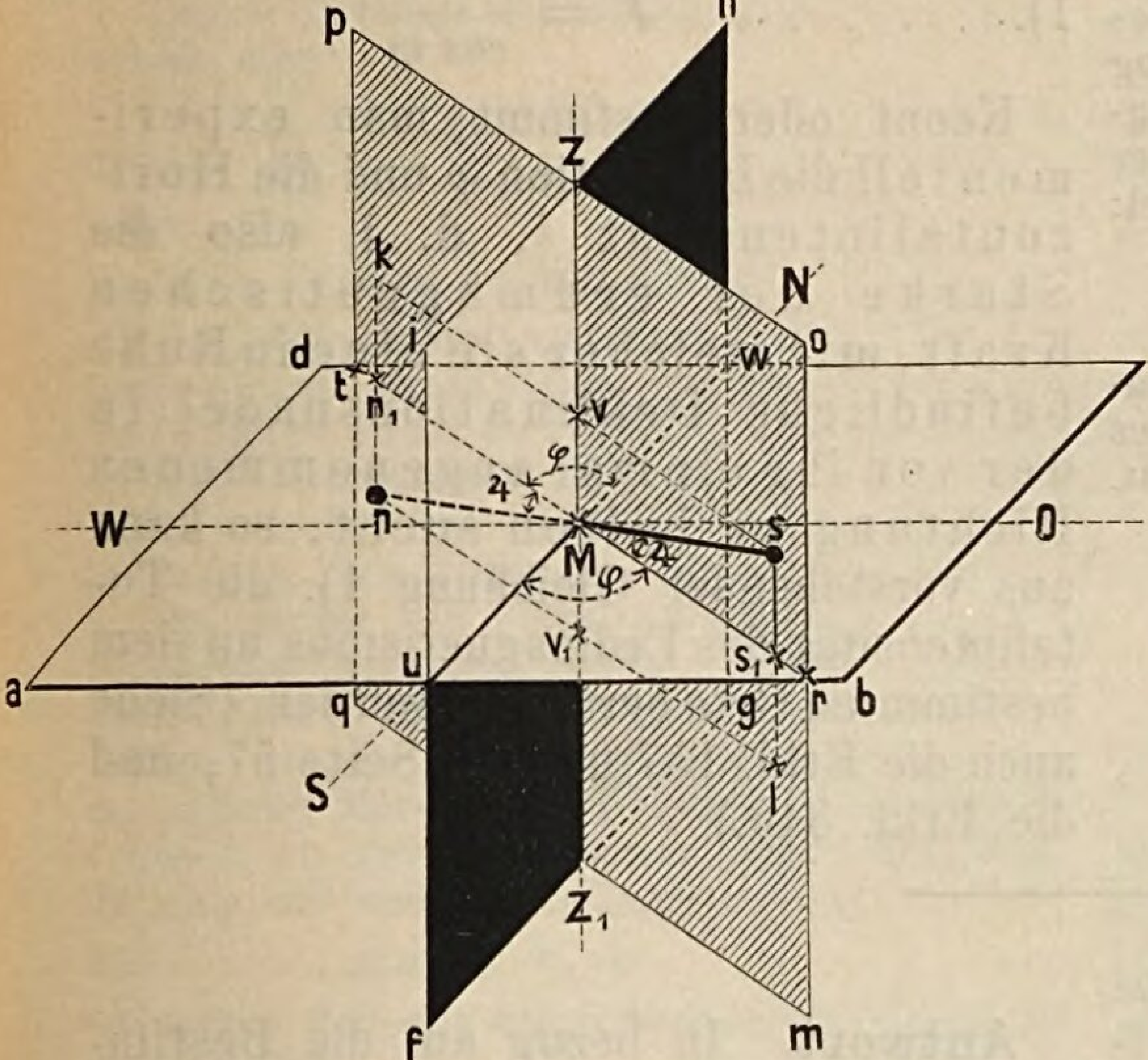
ihrer Schwere auf die Lager der Drehungsaxe ausgeübte Reibung beeinflusst werden, so kam man auf den Gedanken, die Schwingungsbeobachtungen auf die der Deklinationsnadel zurückzuführen und darnach nur einen Teil der Intensität durch das Experiment zu bestimmen und mittels desselben die ganze oder Totalintensität durch Rechnung zu finden.

Ist nämlich, siehe Figur 122 und die Erkl. 337, die in der Richtung der frei schwebenden und in Ruhe befindlichen Inklinationsnadel ns wirkende magnetische Erdkraft ihrer Totalintensität nach durch die Grösse der Strecke $Ms = J$ dargestellt und man konstruiert sich über dieser Strecke als Diagonale das Parallelogramm der Kräfte so, dass die eine der Komponenten in die horizontale Richtung Ms_1 zu liegen kommt, bezw. mit der Richtung der an demselben Orte in Ruhe befindlichen Deklinationsnadel zusammenfällt (siehe Antwort der Frage 85, Seite 65) und dass die andre Komponente in die vertikale Richtung MZ der Axe ZZ_1 zu liegen kommt, dann besteht in dem bei s_1 rechtwinkligen Dreieck Ms_1s die Relation:

$$\cos \sphericalangle sMs_1 = \frac{Ms_1}{Ms} \quad \text{(s. Erkl. 338)}$$

Da nun in derselben die Strecke $Ms = J$, nämlich gleich der zu bestimmenden Totalintensität, der Winkel $sMs_1 = \psi$, nämlich gleich der magnetischen Inklination des Ortes und die Strecke $Ms_1 = i$, nämlich gleich der Grösse jener horizontalen Komponente, d. i. die Stärke der Kraft, mit welcher diese horizontale Komponente, bezw. mit welcher eine in dem Orte M aufgehängte und in Ruhe befindliche Deklinationsnadel von der magnetischen Erdkraft in dem magnetischen Meridian des Ortes gehalten wird und welche dementsprechend den Namen „Horizontalintensität des Erdmagnetismus" erhielt (siehe Erkl. 339), ist, so geht vorstehende Relation über in:

Figur 122.



Erkl. 337. In der Figur 122 bedeutet wie in der Figur 78, Seite 64, ns eine in ihrem Schwerpunkt M (dem Beobachtungsorte) frei aufgehängte Magnetnadel; ferner bedeutet $abcd$ die durch dieselbe gelegte Horizontalebene, $fghi$ die astronomische Meridianebene des Ortes, $mopq$ die magnetische Meridianebene des Ortes und ψ die magnetische Inklination des Ortes.

Erkl. 338. Unter dem Kosinus eines Winkels im rechtwinkligen Dreiecke versteht man das Verhältnis der dem Winkel anliegenden Kathete zur Hypothenuse. (Siehe Kleyers Lehrbücher der Trigonometrie und der Goniometrie.)

Erkl. 339. Die horizontale Intensität i, d. i. der Teil der magnetischen Erdkraft, mittels welcher eine Deklinationsnadel in der einmal von ihr angenommenen Richtung gehalten wird, ist um so kleiner, je grösser die Inklination ist. Dies ergibt sich aus der Zerlegung der Totalintensität mittels des Kräfteparallelogramms, siehe Figur 122, bezw. aus umstehender Gleichung a). (denn mit wachsendem Winkel wird der Kosinus kleiner und kleiner), und kann auch experimentell mittels der in nebenstehender Antwort erwähnten Schwingungsbeobachtungen dargethan werden.

a). $\cos\psi = \frac{i}{J}$

und hieraus erhält man zur Berechnung der Totalintensität J des Erdmagnetismus die Relation:

1). $J = \frac{i}{\cos\psi}$

Kennt oder bestimmt man experimentell die Inklination ψ und die Horizontalintensität i, d. i. also die Stärke der erdmagnetischen Kraft, mit welcher sie eine in Ruhe befindliche Deklinationsnadel in der von ihr einmal angenommenen Richtung zu halten sucht, so kann aus vorstehender Gleichung 1). die Totalintensität des Erdmagnetismus an dem bestimmten Orte berechnet werden. (Siehe auch die Erkl. 157 u. 158, Seite 57, und die Erkl. 340.)

Erkl. 340. Alle Intensitätsbestimmungen des Erdmagnetismus werden auf die Bestimmung der „Horizontalintensität des Erdmagnetismus" zurückgeführt, indem sich mittels der in nebenstehender Antwort entwickelten Formel:

Formel 1 $J = \frac{i}{\cos\psi}$

aus der Inklination ψ und der Horizontalintensität i eines Ortes die Totalintensität J des Erdmagnetismus dieses Ortes berechnen lässt.

Frage 132. Nach welchen Methoden findet die Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus statt?

Antwort. In bezug auf die Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus unterscheidet man im allgemeinen zwei Methoden, nämlich:

1). die Methode der Bestimmung des Erdmagnetismus nach relativem Mass (siehe Antw. der folgenden Frage 133) und

2). die Methode der Bestimmung des Erdmagnetismus nach absolutem Mass (siehe Antwort der Frage 134).

Erkl. 341. Die Worte: „relativ" und „absolut" sind lateinischen Ursprungs; ersteres heisst unter anderm „beziehungsweise," letzteres „unbeschränkt, allgemein" etc.

Frage 133. Worin besteht die Methode der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach relativem Mass?

Antwort. Die Methode der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach relativem Mass besteht im allgemeinen in einer Vergleichung der Horizontalintensitäten an verschiedenen Orten der Erde.

Wie nämlich bereits in Antwort der Frage 130 und in der Erkl. 335 erwähnt, sind die Schwingungen einer Deklinationsnadel genau denselben Gesetzen unterworfen als die eines Pendels, nur dass beide eine andre Kraft, hier die Schwerkraft, dort der Magnetismus der Erde, als Ursache haben. Bezeichnet man deshalb mit i die Horizontalintensität, welche an einem Orte die Schwingungen

Erkl. 342. Bezeichnet man mit t die Schwingungsdauer eines Pendels, d. i. die Zeit, welche der Pendel braucht, um eine Oscillation (Schwingung) zu machen, mit l die Länge des Pendels, mit g die beschleunigende Kraft der Schwere an einem bestimmten Orte der Erde, mit π die irrationale Zahl 3,1415 . ., so besteht nach einem „Pendelgesetz" (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik) zwischen diesen Grössen die Relation:

1). $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

Bezeichnet man ferner mit t_1 die Schwingungsdauer desselben Pendels an einem andern Ort der Erde, mit l wiederum die Länge

des Pendels, mit g_1 die beschleunigende Kraft der Schwere an diesem Orte und mit π die irrationale Zahl 3,1415 . ., so besteht die analoge Relation:

$$2). \quad t_1 = \pi \sqrt{\frac{l}{g_1}}$$

Durch Division der Gleichungen 1). und 2). erhält man:

$$t : t_1 = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l}{g_1}} = \sqrt{\frac{l}{g} : \frac{l}{g_1}} = \sqrt{\frac{g_1}{g}}$$

oder:

$$3). \quad t : t_1 = \sqrt{g_1} : \sqrt{g}$$

d. h. „die Schwingungszeiten t und t_1 eines und desselben Pendels an zwei verschiedenen Orten der Erde verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften g und g_1 der Schwere an jenen Orten."

Da ferner die Schwingungszeiten t und t_1 eines und desselben Pendels an zwei verschiedenen Orten der Erde sich umgekehrt verhalten wie die Schwingungszahlen n und n_1, welche dieser Pendel bezügl. in den Zeiten t und t_1 an zwei Orten macht (siehe Erkl. 343), da also die weitere Relation besteht:

$$4). \quad t : t_1 = n_1 : n$$

so ergibt sich aus den Gleichungen 3). und 4). die Relation:

$$n_1 : n = \sqrt{g_1} : \sqrt{g}$$

oder die Relation:

$$5). \quad g_1 : g = n_1^2 : n^2$$

d. h. „die beschleunigenden Kräfte g und g_1 sind den Quadraten der Schwingungszahlen direkt proportional."

Erkl. 343. Ist n die Zahl der Schwingungen, welche ein Pendel in einer gewissen Zeit, z. B. in einer Minute macht, und ist n_1 die Zahl der Schwingungen, welche dasselbe Pendel in derselben Zeit, aber an einem andern Orte macht, so sind offenbar diese Zahlen n und n_1 um so grösser, je kleiner die Schwingungszeiten einer einzelnen Oscillation sind. Hieraus ergibt sich der Satz: „die Schwingungszeiten t und t_1 eines und desselben Pendels an zwei verschiedenen Orten der Erde sind umgekehrt proportional den betreffenden Schwingungszahlen n und n_1; in Zeichen

$$t : t_1 = n_1 : n.$$

(Siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik.)

Erkl. 344. Zur Bestimmung der Schwingungszahlen, welche eine Deklinationsnadel in einer bestimmten Zeit macht, benutzt man das schon früher erwähnte Magnetometer. Ausführliches über die Schwingungsbeobachtungen findet man im zweiten Teil des Magnetismus.

Erkl. 345. Bei der Methode der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach relativem Mass (siehe nebenstehende Antwort) wird vorausgesetzt, dass sich der mag-

einer Deklinationsnadel erzeugt, d. h. welche bestrebt ist, die Deklinationsnadel in ihre ursprüngliche Lage zurückzubringen und zu halten, bezeichnet man ferner mit i_1 die Horizontalintensität, welche an einem andern Orte die Schwingungen derselben Deklinationsnadel erzeugt und mit N und n bezw. die Anzahl der Schwingungen, welche die Deklinationsnadel an beiden Orten in ein und derselben Zeit (z. B. in je 10 Minuten) macht, so hat man analog dem in der Erkl. 342 angeführten Pendelgesetz die Relation:

$$1). \quad \frac{i}{i_1} = \frac{N^2}{n^2}$$

Findet man also an einem Orte, dass die Deklinationsnadel in einer bestimmten Zeit, z. B. in 3 Minuten 10 Schwingungen, an einem andern Orte in derselben Zeit aber nur 9 Schwingungen macht, so hat man für das Verhältnis der Horizontalintensitäten dieser beiden Orte:

$$\frac{i}{i_1} = \frac{10^2}{9^2}$$

oder:

$$\frac{i}{i_1} = \frac{100}{81} = 1{,}234$$

Würde man nun die Horizontalintensität i_1 des Erdmagnetismus an dem zweiten Orte als Einheit annehmen, so erhielte man hieraus für die Horizontalintensität i des ersten Ortes:

$$i = 1{,}234 \text{ Einheiten der}$$

Horizontalintensität des zweiten Ortes, d. h. die Intensität i jenes Ortes ist auf die Horizontalintensität i_1 des zweiten Ortes bezogen, bezw. nach relativem Mass gemessen.

Nach der in Antwort der Frage 131 und in der Erkl. 340 angeführten Formel kann man aus der Horizontalintensität auf die Totalintensität schliessen. (Siehe die Erkl. 342—348.)

netische Zustand der Deklinationsnadel von dem einen Experiment an dem einen Orte bis zum zweiten Experiment an dem andern Orte nicht ändert, was nicht verbürgt werden kann; weshalb diese Methode eine im allgemeinen unzuverlässige ist. Ausserdem hat diese Methode den Nachteil, dass die damit erhaltenen Resultate auf kein absolutes Mass zurückgeführt sind; siehe Antwort der Frage 134 und die Erkl. 348.

Erkl. 346. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass man nach der in umstehender Antwort angegebenen Methode, wenn man die Schwingungen einer Inklinationsnadel beobachtet, direkt und ohne Rechnung (siehe Antw. der Frage 131 und die Erkl. 335) auch die Totalintensität des Erdmagnetismus eines Ortes durch ein relatives Mass messen kann.

Erkl. 347. Die in umstehender Antwort angeführte Methode der Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus (siehe Erkl. 340) nach relativem Mass wurde zuerst von *Jean Charles de Borda*, franz. Mathematiker und Seemann, geb. 4. Mai 1733 in Dax, angegeben und heisst deshalb auch „Bordas Methode“.

Erkl. 348. *Alexander v. Humboldt* wandte die Methode der Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach relativem Mass auf seinen Reisen in Frankreich, Italien, Deutschland und Amerika an. Besonders bemerkenswert sind seine Schwingungsbeobachtungen, die er zu Anfang dieses Jahrhunderts auf dem magnetischen Aequator im nördlichen Peru behufs der Intensitätsbestimmungen des Erdmagnetismus anstellte. Die Anzahl der Schwingungen nämlich, welche *Humboldt* daselbst in einer bestimmten Zeit fand, wurde als „Einheit“ allen andern Intensitätsbestimmungen nach relativem Mass zu Grunde gelegt, dementsprechend mit „1“ bezeichnet und „Humboldtsche Einheit“ genannt.

Frage 134. Worin besteht die Methode der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass?

Antwort. Die Methode der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass besteht im allgemeinen darin, dass zur Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes eine solche Einheit gewählt wird (siehe Erkl. 349), welche nicht abhängig ist von den an einem andern Ort gemachten Beobachtungen (wie bei der Bestimmung nach relativem Mass, siehe Erkl. 348), sondern dass sie an jedem Ort der Erde selbst bestimmt, bezw. dass mit ihr, als einem allgemeinen (absoluten) Mass, an jedem Ort der Erde direkt gemessen werden kann (siehe Erkl. 350).

Erkl. 349. Die spezielle Definition des absoluten Masses, nach welchem die Intensität des Erdmagnetismus bestimmt wird, ist in dem Abschnitt des II. Teils gegeben, welcher über „die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass“ handelt.

Erkl. 350. Die in einem Abschnitt des II. Teils vorgeführte Methode der Bestimmung der Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass, welche nach ihrem Erfinder auch die „Gauss'sche Methode“ genannt wird, ist frei von den Mängeln, welche die Methode der Bestimmung nach relativem Mass zeigt (siehe die Erkl. 345).

b). Ueber die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde.

(Intensitätskarten.)

Frage 135. Ist die Intensität des Erdmagnetismus an allen Orten der Erde dieselbe?

Antwort. Die Intensität des Erdmagnetismus ist wie die magnetische Deklination und Inklination (siehe die Antworten der Fragen 111 u. 121) fast an jedem Ort der Erde eine andre.

Frage 136. Was versteht man unter einer sogenannten Intensitätskarte?

Erkl. 351. Die Intensitätskarten sind noch neueren Ursprungs als die Inklinationskarten (siehe Erkl. 318).

Erkl. 352. Die Karten VIII und IX auf den folgenden Seiten stellen sogenannte „Horizontalintensitätskarten" dar. In beiden Karten sind nicht die Orte gleicher Totalintensität, sondern die gleicher Horizontalintensität eingetragen (siehe Erkl. 340, Seite 124).

Die Karte VIII stellt wie die Karten I und VI den Teil der Erdoberfläche, der zwischen dem 85° nördlicher und dem 60° südlicher Breite liegt mit den isodynamischen Linien nach *Mercators* Projektionsart (siehe Erkl. 267) dar. Die den isodynamischen Linien beigedruckten Zahlen beziehen sich auf die *Humboldt*sche Intensitätseinheit (siehe Erkl. 348) und müssen, um sie mit dieser Einheit zu vergleichen, durch 1000 dividiert werden; werden dieselben mit der konstanten Zahl 0,003494 multipliziert, so kann man sie hierdurch auf die *Gauss*sche absolute Masseinheit zurückführen (siehe Erkl. 350).

Die Karte IX stellt wie die Karten II u. VII die Teile der Erdoberfläche um die beiden Pole bis zum 60° nördlicher, bezw. bis zum 60° südlicher Breite mit den isodynamischen Linien nach der stereographischen Polarprojektion (s. Erkl. 267) dar.

Antwort. Aehnlich wie bei der Herstellung der Deklinations- und Inklinationskarten (siehe die Antworten der Fragen 112 und 122), hat man die Resultate der Beobachtungen, welche in betreff der Horizontalintensität (siehe Erkl. 340) des Erdmagnetismus an den verschiedenen Orten der Erde gemacht wurden, in genauen Karten eingetragen und durch stetige krumme Linien die Orte verbunden, welche hierbei gleiche Horizontalintensitäten zeigten (siehe Erklärung 351).

Die auf diese Weise bestimmten Linien, welche also die Orte der Erde, deren Horizontalintensität dieselbe ist, enthalten, nennt man dementsprechend „Linien gleicher (Horizontal-) Intensität, oder nach griechischer Bezeichnung „isodynamische Linien oder Kurven" (was dasselbe heisst), oder auch kurzweg „Isodynamen".

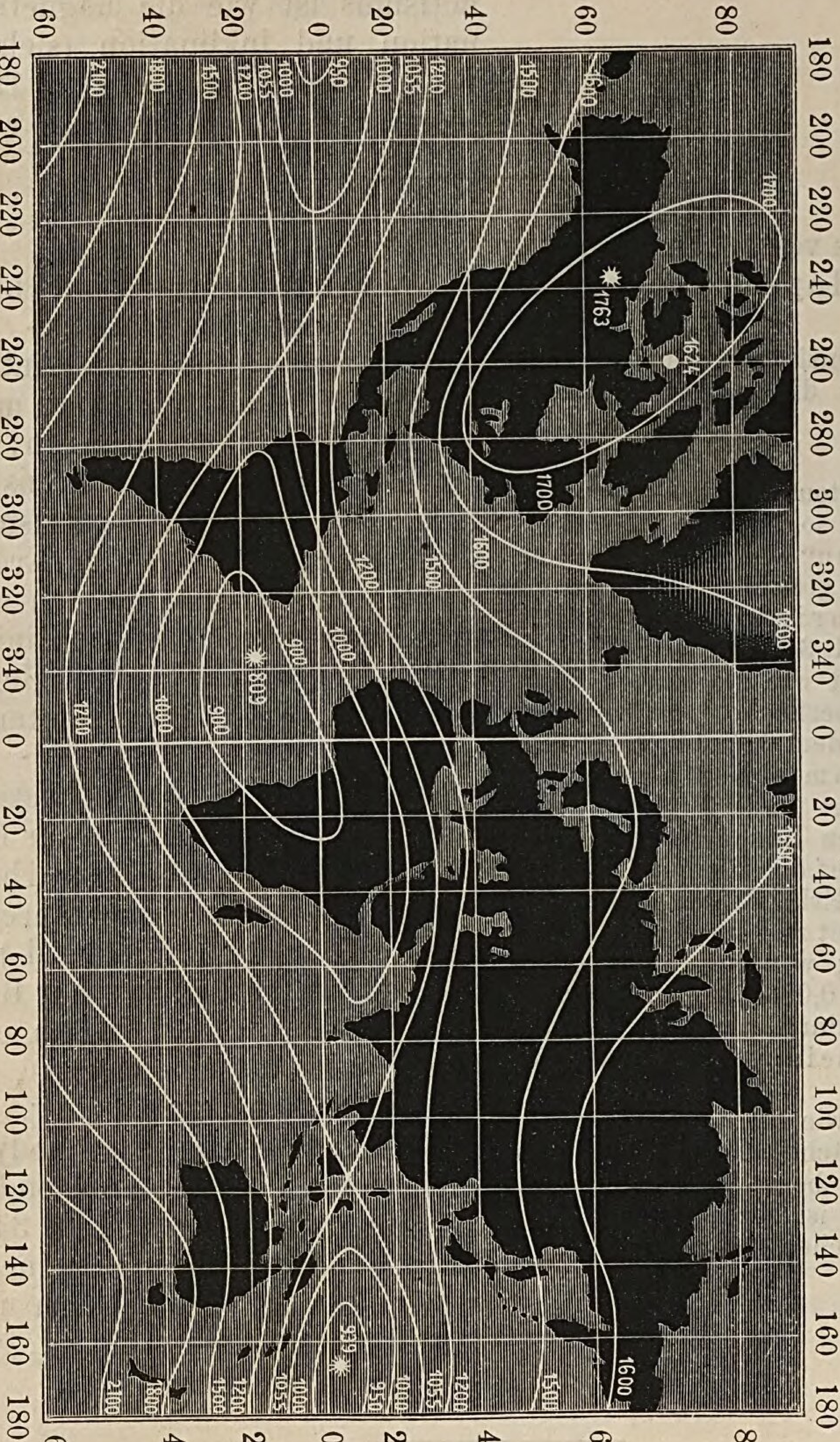
Karten, welche die isodynamischen Linien mit den entsprechenden Werten der Intensität (siehe Erkl. 340) enthalten, nennt man im allgemeinen „Intensitätskarten"; eigentlich müssten sie Horizontalintensitätskarten heissen (siehe die Erkl. 352).

Frage 137. Was kann man im allgemeinen über den Verlauf der in den Karten VIII und IX verzeichneten „Linien gleicher Intensität", den sogenannten „Isodynamen" aussagen?

Antwort. Betrachtet man die Karten VIII und IX und untersucht den Verlauf der Linien gleicher Horizontalintensität, der sogenannten „Isodynamen", so ergibt sich folgendes:

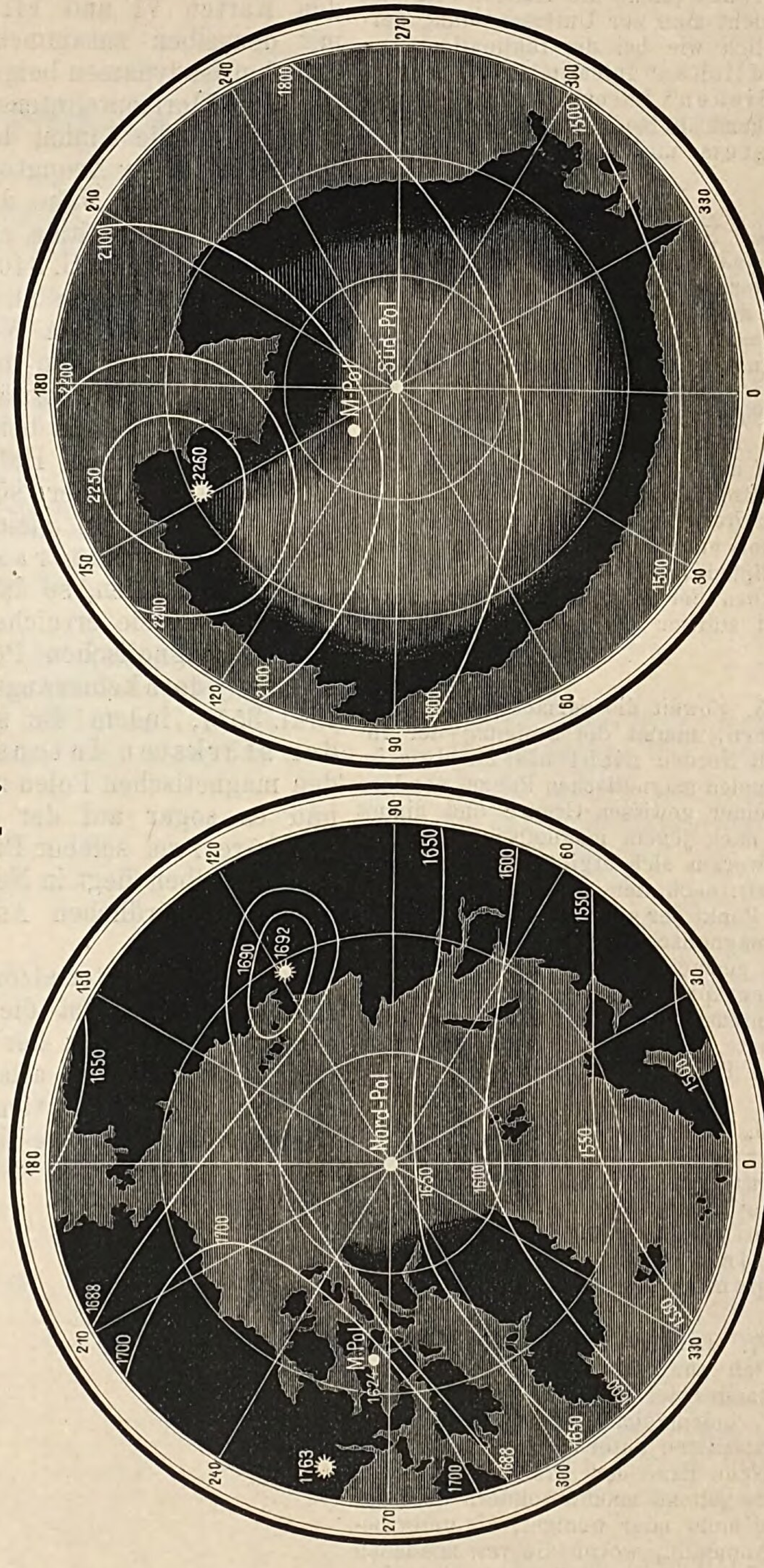
Karte VIII. Intensitätskarte.

Karte der Linien gleicher Horizontalintensität, der sogen. Isodynamen, nach Mercators Projektionsart.



Karte IX. Intensitätskarte.

Karte der Linien gleicher Horizontalintensität, der sogen. Isodynamen, nach der stereographischen Polarprojektionsart.



Erkl. 353. Da die nördliche Hemisphäre dieselben Intensitätswerte wie die südliche Hemisphäre aufweist (siehe die Karten VIII und IX), so spricht man zur Unterscheidung derselben, ähnlich wie bei der Inklination, von einem „nördlichen" Intensitätswert und von einem „südlichen" Intensitätswert, und teilt dementsprechend die Isodynamen in ein nördliches System und in ein südliches System.

Erkl. 354. Nach dem *Gauss*schen absoluten Mass (siehe Erkl. 350) ist die Intensität in dem im Norden liegenden magnetischen Pol = 2,14, in dem im Süden liegenden magnetischen Pol = 2,79, woraus sich ergibt, dass der im Süden gelegene magnetische Pol stärker als der im Norden gelegene ist.

Kapitän *Sabine* fand für die Grösse der Intensität am magnetischen Nordpol = 1624 (= 1624 auf der Karte VIII, siehe Erkl. 352) der *Humboldt*schen Einheit, während Kapitän *James Clark Ross* in der Nähe des magnetischen Südpols eine Intensität = 2260 der *Humboldt*schen Einheit fand. Somit wäre auch nach diesen Angaben der im Süden gelegene magnetische Pol stärker als der im Norden gelegene.

Erkl. 355. Soweit die gemachten Beobachtungen reichen, nimmt die Steigung der Intensität nach Norden nicht bis zu dem im Norden liegenden magnetischen Pol zu, sondern nur bis zu einer gewissen Grenze und nimmt von da an nach jenem magnetischen Pol hin wieder ab, woraus sich ergibt, dass in Wirklichkeit (bezw. nach den gemachten Beobachtungen) der Punkt der stärksten Intensität nicht mit jenem magnetischen Pol zusammenfällt.

Was die gemachten Beobachtungen in der Nähe des geographischen Südpols anbetrifft, so nimmt die Intensität, soweit man bis jetzt vordringen konnte, nach dem im Süden gelegenen magnetischen Pol fortwährend zu.

Erkl. 356. Die Punkte, in welchen die Intensität ihr Maximum erreicht, heissen „Punkte grösster Intensität" oder „magnetische Stärkepole"; die Punkte, in welchen die Intensität ihr Minimum erreicht, heissen „Punkte geringster Intensität" oder „magnetische Schwächepunkte".

Erkl. 357. Bemerkt sei noch, dass die Intensitätskarten zur Bestimmung des magnetischen Zustandes der Erde von grosser Wichtigkeit sind, indem sich aus der Betrachtung der Intensitätskarten unter anderm ergibt, dass die magnetische Kraft der Erde sich nicht in einem Punkte geltend macht, sondern über der ganzen Erde mehr oder weniger, oft unter bedeutender Anomalie, wovon die verschiedenen Punkte stärkster und schwächster Intensität Zeugnis ablegen, verbreitet ist.

Die Isodynamen nehmen annähernd denselben Verlauf wie die Isoklinen auf den Karten VI und VII, ohne jedoch mit denselben zusammenzufallen. Aus den den Isodynamen beigedruckten Werten der Horizontalintensitäten erkennt man, dass die Linien der schwächsten Intensität in der Aequatorialzone liegen, dass also in der Nähe des Erdäquators die Horizontal-, mithin auch die Totalintensität (siehe Erkl. 340) am geringsten ist und von da ab nach jedem der beiden Pole dieselben Werte durchläuft (siehe Erkl. 353). Von der Aequatorialzone wächst die Intensität nach den beiden Polen zu, jedoch bei gleicher Breite auf der nördlichen Halbkugel langsamer als auf der südlichen (siehe Erkl. 354) und in gleicher nördlicher Breite in Amerika rascher als in Europa und Asien, so dass man annehmen könnte, sie erreiche ihr Maximum in den magnetischen Polen der Erde. Dies ist jedoch keineswegs der Fall (siehe Erkl. 355), indem die sogen. Punkte der stärksten Intensität nicht mit den magnetischen Polen zusammenfallen, und es sogar auf der nördlichen Hemisphäre zwei solcher Punkte gibt; der eine derselben liegt in Nordamerika, der andre im nördlichen Asien (siehe Erklärung 356.)

In der Aequatorialzone liegen zwei Punkte, in welchen die Intensität ihr Minimum erreicht; der eine liegt südlich vom Aequator im atlantischen Ozean, der andre nördlich vom Aequator im stillen Ozean (siehe die Erkl. 356 u. 358.)

Erkl. 358. In dem Punkte der stärksten Intensität auf der nördlichen Hemisphäre ist die Intensität ungefähr die doppelte als die am Aequator.

c). Ueber die Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes zu verschiedenen Zeiten.

Frage 138. Ist die Intensität des Erdmagnetismus an einem und demselben Orte zu jeder Zeit dieselbe?

Erkl. 359. Die Beobachtungen in betreff der Veränderungen der Intensität des Erdmagnetismus zu verschiedenen Zeiten sind für die Theorie des Erdmagnetismus von sehr grosser Bedeutung und deshalb ist denselben auch in der neuern Zeit die grösste Aufmerksamkeit zugewandt worden.

Die Methoden und Instrumente (das Bifilarmagnetometer von *Gauss* etc.), nach und mittels welchen die Veränderungen der Intensität bestimmt werden, sind im zweiten Teil des Magnetismus vorgeführt.

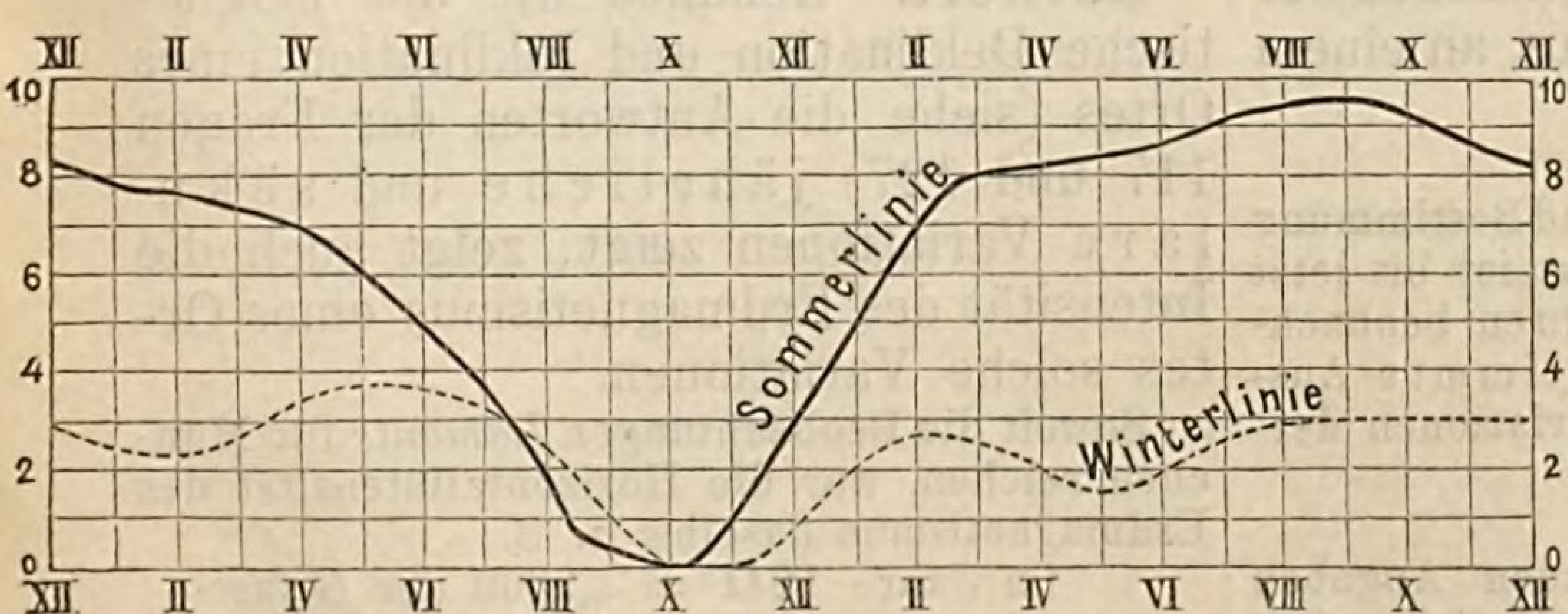
Antwort. Die Intensität des Erdmagnetismus an einem und demselben Orte ist nicht zu jeder Zeit dieselbe, sie ist wie die magnetische Deklination und Inklination beständigen Schwankungen und Veränderungen unterworfen. (Siehe die Erkl. 359 und auch die Erkl. 283 u. 284, Seite 105.)

Frage 139. In welche verschiedene Arten kann man die Schwankungen und Veränderungen der Intensität des Erdmagnetismus eines und desselben Ortes einteilen?

Antwort. Die Veränderungen, welchen die Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes unterworfen ist, kann man wie die der Deklination und Inklination (siehe die Antworten der Fragen 114 und 124) einteilen in: periodische, regelmässige und unregelmässige Veränderungen, bezw. in tägliche, jährliche und säkulare Variationen. (Siehe die Erkl. 286 u. 287, Seite 106.)

Frage 140. Worin bestehen die täglichen Variationen der Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes?

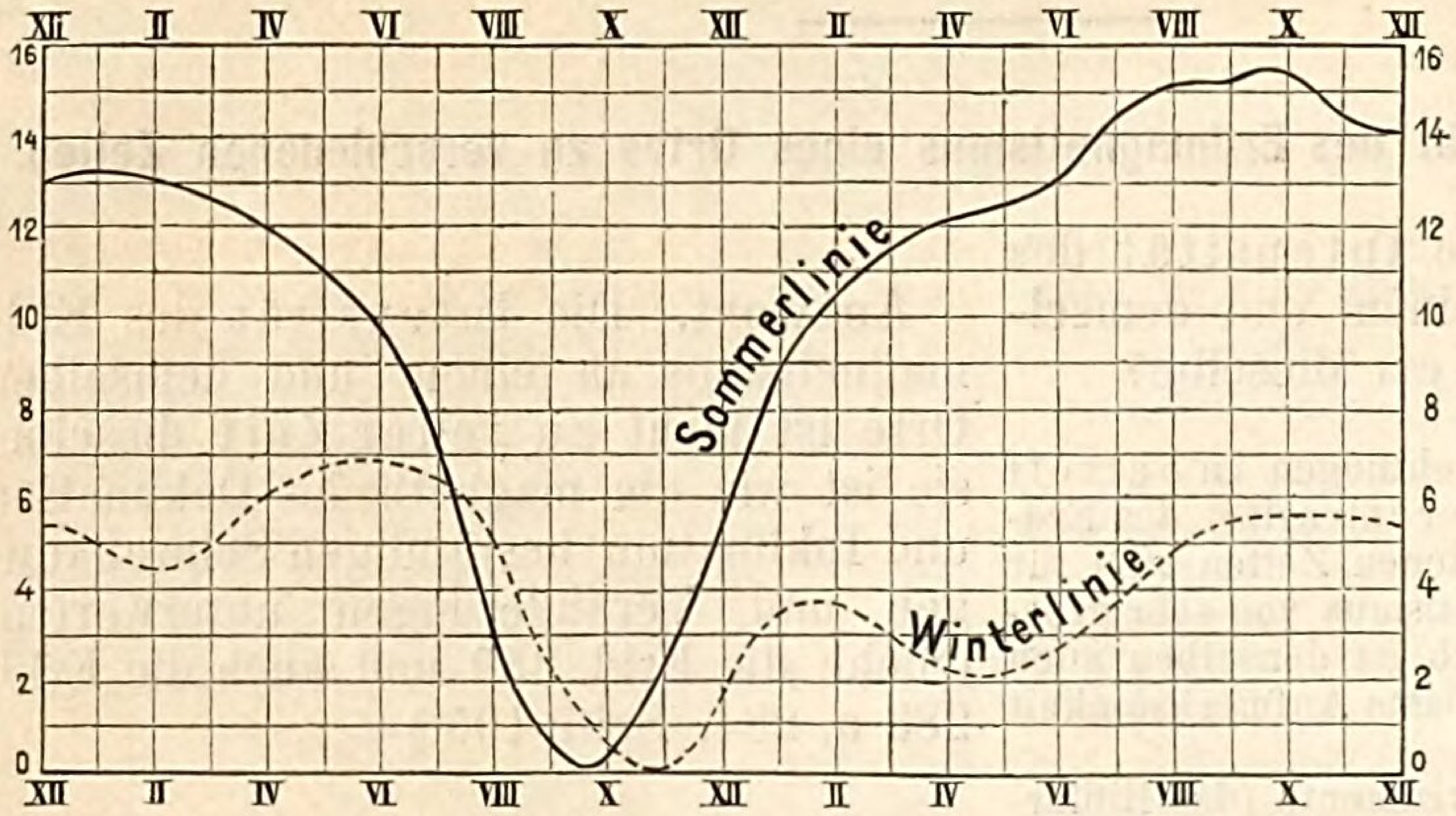
Figur 123.



Antwort. Bezüglich der täglichen Variationen der Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes beobachtete man, dass die Intensität wie die Inklination (siehe Antw. der Frage 125, Seite 119) periodischen Veränderungen unterworfen ist, welche jedoch den täglichen Veränderungen der Inklination gerade entgegengesetzt sind, indem sie morgens um 10 Uhr ihr Minimum, abends um 10 Uhr ihr Maximum erreichen. Diese

periodischen täglichen Variationen der Intensität bleiben, wie die der Deklination und Inklination, keineswegs für jeden Tag jahraus jahrein dieselben, sondern sie sind unter sich veränderlich, weshalb man auch hier von Mittelwerten der täglichen Variationen eines Ortes spricht (siehe die Erkl. 360).

Figur 124.



Erkl. 360. Der Charakter der täglichen Variation der Intensität lässt sich sehr gut aus den von *Lamont* gemachten Aufzeichnungen, welche in nebenstehender Tabelle enthalten sind und aus den durch die Figuren 123 u. 124 dargestellten geographischen Aufzeichnungen der Kurven jener Veränderungen erkennen. (Siehe die Erkl. 289—298, Seite 107, die Erkl. 327, Seite 119 und die Erkl. 361.)

Erkl. 361. In betreff der Figuren 123 und 124 vergleiche man die Erkl. 292, Seite 107, und beachte, dass die Figur 123 die Kurven der Veränderungen der Horizontalintensität, die Figur 124 die Kurven der Veränderungen der Totalintensität darstellen.

Tabelle,

enthaltend die von *Lamont* angegebenen Mittelwerte der täglichen Veränderungen der Horizontal- und der Totalintensität, welche sich aus dem Zeitraum 1843—45 ergaben und welche vom kleinsten Werte der Intensität Münchens ab gerechnet sind:

	Sommermittelwert der Horizontal- und der Totalintensität			Wintermittelwert der Horizontal- und der Totalintensität		
	in zehntausendstel der ganzen Kraft (nach absolutem Mass, siehe Erkl. 350) ausgedrückt					
1 Uhr morgens,	= 13,77	bezw.	= 8,03;	= 5,06	bezw.	= 2,59
2 „ „	= 13,11	„	= 7,70;	= 4,46	„	= 2,39
4 „ „	= 12,35	„	= 7,18;	= 6,00	„	= 3,11
6 „ „	= 10,11	„	= 5,90;	= 6,79	„	= 3,55
7 „ „	= 7,47	„	= 4,34;	= 6,75	„	= 3,54
8 „ „	= 3,35	„	= 2,15;	= 5,19	„	= 2,66
9 „ „	= 0,42	„	= 0,33;	= 2,61	„	= 1,22
10 „ „	= 0,00	„	= 0,00:	= 0,50	„	= 0,00
11 „ „	= 12,01	„	= 1,15;	= 0,00	„	= 0,00
12 „ „	= 5,59	„	= 3,36;	= 1,85	„	= 1,15
1 „ nachm.,	= 9,30	„	= 5,49;	= 3,41	„	= 2,43
2 „ „	= 10,71	„	= 6,96;	= 3,32	„	= 2,57
3 „ „	= 11,96	„	= 8,00;	= 2,76	„	= 2,36
4 „ „	= 11,82	„	= 8,07;	= 2,32	„	= 2,07
5 „ „	= 12,03	„	= 8,25;	= 2,16	„	= 1,87
6 „ „	= 12,88	„	= 8,34;	= 3,23	„	= 2,46
8 „ „	= 15,37	„	= 9,32;	= 3,65	„	= 2,90
10 „ „	= 15,29	„	= 9,09;	= 5,34	„	= 2,99
12 „ „	= 14,28	„	= 8,39;	= 5,45	„	= 2,90

Frage 141. Worin bestehen die jährlichen und säkularen Variationen der Intensität des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte?

Antwort. Aehnlich wie die magnetische Deklination und Inklination eines Ortes (siehe die Antworten der Fragen 117 und 127) jährliche und säkulare Variationen zeigt, zeigt auch die Intensität des Erdmagnetismus eines Ortes solche Variationen.

Soweit die Beobachtungen *Lamonts* für München reichen, war die Horizontalintensität des Erdmagnetismus daselbst z. B.:

im Jahre 1841 = 1,9300 der *Gauss*-
„ „ 1842 = 1,9339 schen abso-
„ „ 1843 = 1,9373 luten Mass-

Erkl. 362. Die Beobachtung und Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus ist bis jetzt erst eine zu kurze Reihe von Jahren beobachtet worden, als dass man bestimmte Aussagen über die säkularen Variationen derselben machen könnte.

Erkl. 363. Aus nebenstehenden Angaben für München ersieht man, dass die Intensität für das mittlere Deutschland im Wachsen

begriffen zu sein scheint. Aus diesen Angaben lässt sich ferner das Mittel der „jährlichen Aenderung“ für die Jahre 1841—52 berechnen. Man erhält hiernach, dass das Mittel der jährlichen Veränderung der Horizontalintensität Münchens = 0,0019 Intensitätseinheiten Zunahme beträgt.

Ein gleiches Wachstum der Intensität wurde in Göttingen beobachtet, indem vom Jahre 1834 bis zu dem Jahre 1853 die horizontale Intensität von 1,774 bis auf 1,805 Intensitätseinheiten (nach absolutem Mass) zunahm.

Erkl. 364. Nach Beobachtungen des schwedischen Astronomen *Hansteen* betrug die jährliche Zunahme der Intensität nach absolutem Mass gemessen:

in Milo (Insel im ägäischen Meer) = 0,0010,
„ Frederiksvärn (Hafen in Norwegen) = 0,0016,
„ Malta (Insel im mittelländ. Meer) = 0,0017,
„ Gibraltar (engl. Festung an der Südspitze Spaniens) = 0,0026,
„ Algier (Stadt in Nord-Afrika) = 0,0033.

im Jahre 1844 = 1,9374 einheit(siehe
„ „ 1845 = 1,9374 Erkl. 350)
„ „ 1846 = 1,9397
„ „ 1847 = 1,9417
„ „ 1848 = 1,9432
„ „ 1849 = 1,9437
„ „ 1850 = 1,9523
„ „ 1851 = 1,9549
„ „ 1852 = 1,9508

aus welchen Angaben die Totalintensitäten nach der in der Erkl. 340, Seite 124 angegebenen Formel berechnet werden können.

Frage 142. Worin bestehen die unregelmässigen Veränderungen, die sogenannten Intensitätsstörungen?

Antwort. Die unregelmässigen Veränderungen, die sogen. Störungen der Intensität sind auf dieselben Ursachen wie die der Deklination und Inklination (siehe die Antwort der Fragen 118 und 128) zurückzuführen.

8). Ueber den Zweck der Untersuchungen des Erdmagnetismus.

Frage 143. Welchen Zweck haben die Untersuchungen über den Erdmagnetismus?

Antwort. Die Untersuchungen über den Erdmagnetismus haben einen zweifachen Zweck, nämlich:

1). die Wirkung des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte der Erde auf die magnetischen Körper kennen zu lernen, da hiervon der magnetische Zustand dieser Körper teilweise abhängig ist und ihre magnetische Wirkung beeinflusst wird, und

2). um den magnetischen Zustand der ganzen Erde selbst kennen zu lernen.

Zur Erreichung des ersten Zweckes ist die Kenntnis der sogenannten „magnetischen Konstanten“ oder der „magnetischen Elemente“, näm-

lich: der Deklination, Inklination und Intensität des Erdmagnetismus an dem betreffenden Orte erforderlich (siehe Erkl. 365). Auf welche Weise diese drei Konstanten bestimmt werden können, ist in den vorstehenden Abschnitten gezeigt worden (siehe Erkl. 366); auf welche Weise ferner diese drei Konstanten benutzt werden, um den magnetischen Zustand der Körper zu untersuchen, wird im II. Teil des Magnetismus gezeigt.

Zur Erreichung des zweiten Zweckes, welches ein rein physikalisch-geographischer ist, ist es erforderlich, dass für alle Punkte der Erde die Werte der drei magnetischen Konstanten: Deklination, Inklination und Intensität bestimmt und mittels der erhaltenen Resultate die sogenannten magnetischen Karten, als: Deklinations-, Inklinations- und Intensitätskarten hergestellt werden. Da jene drei magnetischen Konstanten sich mit der Zeit ändern, so müssen die Werte derselben immer aufs neue bestimmt und neue magnetische Karten hergestellt werden (siehe Erkl. 366). Wie weit dieser Zweck erreicht ist, wird in den nächsten zwei Abschnitten gezeigt.

Erkl. 365. Durch die magnetische Deklination und Inklination eines Ortes als Winkelkoordinaten der Richtung der erdmagnetischen Kraft (siehe Erkl. 175, Seite 64) ist die Richtung, durch die Intensität die Stärke jener Kraft an dem betreffenden Ort bestimmt.

Erkl. 366. Die Untersuchungen über den Erdmagnetismus haben seit Anfang dieses Jahrhunderts eine grössere Bedeutung erlangt und wurden seit dieser Zeit fast auf allen Teilen der Erdoberfläche eisenfreie Observatorien errichtet, auf welchen erdmagnetische Beobachtungen bis zur astronomischen Genauigkeit mittels vortrefflicher Instrumente gemacht werden.

9). Ueber den magnetischen Zustand der Erde im allgemeinen.

Frage 144. Welches ist der magnetische Zustand der Erde im allgemeinen?

Antwort. Der magnetische Zustand der Erde lässt sich im allgemeinen aus den Linien gleicher Deklination (Isogonen), den Linien gleicher Inklination (Isoklinen), und den Linien gleicher Intensität (Isodynamen), welche auf den sogenannten magnetischen Karten: Deklinationskarten (siehe Karte I und II), Inklinationskarten (siehe Karte VI und VII), und Intensitätskarten (siehe Karte VIII und IX) verzeichnet sind, erkennen, und zwar um so besser, je mehr und je genauer derartige Linien festgestellt wurden.

Aus den erwähnten magnetischen Karten erkennt man zunächst, dass die Wirkung der erdmagnetischen Kraft nicht überall dieselbe ist, dass sie im allgemeinen von der Aequatorialzone nach den beiden

Polen hin an Stärke zunimmt, woraus sich wiederum ergibt, dass die Erde als ein grosser Magnet betrachtet werden muss, dessen Pole in der Nähe der geographischen Pole liegen und dessen Indifferenzzone in der Aequatorialzone liegt (siehe Antw. der Frage 77, Seite 54 und die Erkl. 367).

Aus den magnetischen Karten ersieht man ferner, dass die Verteilung des Erdmagnetismus, die Erde selbst als ein grosser Magnet betrachtet, keine so gleichmässige ist, wie sie bei den künstlichen Magneten beobachtet wird, denn sonst müssten die Linien gleicher Deklination, gleicher Inklination und gleicher Intensität stetige kreisförmige Kurven sein, und müssten die magnetischen Pole diametral gegenüberstehen, was nicht der Fall ist (siehe Erkl. 281, Seite 105); ausserdem gibt es auf der nördlichen Hemisphäre zwei Punkte grösster Intensität, der eine im nördlichen Amerika, der andre im nördlichen Asien (siehe Antwort der Frage 137, Seite 127).

Ferner ersieht man aus den magnetischen Karten, dass sich auf der südlichen, kälteren Halbkugel der Erde die magnetische Kraft stärker äussert, als auf der nördlichen, wärmeren Halbkugel (siehe Erkl. 368). Vergleicht man ferner solche magnetische Karten, die zu verschiedenen Zeiten angefertigt wurden (siehe Karte V), so findet man, dass die darauf verzeichneten und mit gleichen Werten bezeichneten magnetischen Kurven von ihrem Verlauf abweichen, dass sich also die Wirkung der magnetischen Erdkraft an demselben Orte mit der Zeit ändert und zwar abgesehen von täglichen und jährlichen periodischen Veränderungen, welche auf die ungleichmässige tägliche und jährliche Erwärmung der Erde durch die Sonne zurückgeführt werden (siehe Erkl. 368 und die Erkl. 376).

Aus allem diesen ergibt sich, dass die Erde ein Magnet ist, der an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche eine gleichmässig verteilte magnetische Kraft wie andre Magnete offenbart, dass er nicht allein ein anomaler (siehe Antw. der Frage 56, Seite 37), sondern auch ein variabler (veränderlicher) Magnet ist.

Es ist somit sehr schwer, sich eine genaue Vorstellung von dem magnetischen Zustand der Erde zu machen, und zwar so lange als man nicht den Sitz, bezw. die Ursache der erdmagnetischen Kraft kennt, um jene ungleichmässige Verteilung darauf zurückführen zu können.

Erkl. 367. Die Pole eines Magnets sind die Punkte, in welchen sich die magnetische Kraft derselben am stärksten offenbart. Die Indifferenzzone ist die Linie, in welcher sich die Wirkung der magnetischen Kraft am geringsten offenbart.

Erkl. 368. Wie in Antwort der Frage 71, Seite 51 gezeigt wurde, nimmt die magnetische Kraft mit jeder Temperaturerhöhung ab, weshalb auch auf der südlichen Halbkugel der Erde, die an sich kälter als die nördliche ist (sie enthält weniger Land und mehr Eismassen als diese), die erdmagnetische Kraft sich stärker äussern muss als auf der nördlichen.

Erkl. 369. Die magnetischen Karten des vorigen Jahrhunderts und die vom Anfang dieses Jahrhunderts zeigen eine bedeutend abweichende Lage der magnetischen Kurven von den jetzigen neueren Karten.

10). Vorstellung über den Sitz und die Ursache der erdmagnetischen Kraft.

(Hypothesen.)

Frage 145. Auf welche Weise versuchte man sich den anomalen und variabeln magnetischen Zustand der Erde zu erklären?

Antwort. Zur Erklärung des anomalen und des variabeln magnetischen Zustandes der Erde ist, wie in voriger Antwort erwähnt, erforderlich, dass man sich über den Sitz oder über die Ursache der erdmagnetischen Kraft Aufschluss verschafft. Hierüber wurden mancherlei Hypothesen aufgestellt.

Tobias Mayer (siehe Erkl. 370), als erster, welcher eine diesbezügliche Erklärung zu geben suchte, nahm in der Mitte der Erde einen im Verhältnis zur Erde kleinen Magnet an und berechnete nach dem Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung (siehe Erkl. 371) den Einfluss, welchen jener Magnet auf einen an der Oberfläche der Erde in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnet haben würde (siehe Erkl. 372).

Die den Berechnungen von *Mayer* zu Grunde gelegte Hypothese der Annahme eines Zentralmagnets wurde von *Biot* (siehe Erkl. 373) aufgenommen und wurden von ihm weitere, auf diese Hypothese gegründete Berechnungen aufgestellt; da jedoch auch diese Berechnungen zu keinem mit den Beobachtungen übereinstimmenden Resultate führten, stellte der norwegische Astronom *Hansteen* (siehe Erkl. 299, Seite 108) eine andre Hypothese auf, indem er annahm, dass sich im Innern der Erde zwei mit dem Mittelpunkt der Erde exzentrische, zu einander schief gestellte, in steter Bewegung begriffene Magnete von ungleicher Stärke befänden und suchte hieraus den anomalen magnetischen Zustand der Erde zurückzuführen, doch auch diese Hypothese führte, wie eine Reihe von andern, welchen willkürliche Annahme zu Grunde gelegt wurden, zu keinem Resultate und mussten verlassen werden.

Die der Wahrheit am nächsten kommende Hypothese über den Sitz und die

Erkl. 370. *Johann Tobias Mayer*, Astronom und Mathematiker, wurde 17. Febr. 1723 zu Marbach in Württemberg geboren.

Erkl. 371. Das im zweiten Teil des Magnetismus entwickelte allgemeine Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung einfacher magnetischer Massen heisst:

„**Die Anziehung, bezw. Abstossung der gleichnamigen Fluida (Magnetismen) ist dem Produkt der wirkenden Mengen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional.**

Erkl. 372. Nach der Hypothese des *Tobias Mayer*, dass sich in der Mitte der Erde ein kleiner Magnet befände und nach den von ihm aufgestellten Berechnungen müsste die Axe eines solchen Magnets mit der magnetischen Axe der als Magnet gedachten Erde zusammenfallen; dann müsste der magnetische Aequator und die magnetischen Meridiane grösste Kreise sein; ferner müsste die Intensität am magnetischen Aequator am kleinsten, an den magnetischen Polen am grössten und von diesem Aequator nach beiden Polen zu gleichmässig zunehmen. Dies alles widerspricht jedoch dem durch die Beobachtungen festgestellten wirklichen magnetischen Zustand der Erde (siehe Antw. der Frage 144), ausserdem differieren die nach dieser Theorie von *Mayer* berechneten Werte mit den durch die Beobachtungen festgestellten.

Erkl. 373. *Jean Baptiste Biot*, berühmter französischer Physiker, geb. 21. April 1774 zu Paris.

Erkl. 374. *Johann Lamont*, geb. 13. Dezember 1805 zu Bracmar in Schottland, wurde im Jahre 1835 ordentlicher Professor der Astronomie zu München und Konservator der Sternwarte Bogenhausen bei München; erwarb sich grosses Verdienst um die Erforschung des Erdmagnetismus.

Erkl. 375. Während durch die von *Gauss* und *Weber* angestellten mathematischen Untersuchungen (siehe den folgenden Abschnitt) die Hypothese *Lamonts* unterstützt wird, werden gleichzeitig durch dieselben alle früheren Hypothesen widerlegt (siehe die Erkl. 387).

Erkl. 376. Wie in den vorhergegangenen Abschnitten gezeigt wurde, ist durch Beobachtungen festgestellt, dass die Schwankungen der magnetischen Elemente: Deklination, Inklination und Intensität des Erdmagnetismus genau mit dem Gang der Sonne zusammenhängen, indem am Tage (zu welcher Zeit die Erwärmung der Erde durch die Sonne stattfindet) dieselben rascher und bestimmter stattfinden als in der Nacht; indem ferner die grössten Schwankungen während der Sommermonate (in welchen eine sehr intensive Erwärmung der Erde durch die Sonne stattfindet) stattfinden und im Winter nicht so heftig auftreten. Ferner die Thatsache, dass die Punkte der Erde stärkster Intensität mit den Punkten der stärksten Kälte, die Punkte der schwächsten Intensität mit den Punkten der höchsten Wärme zusammenfallen; dass schliesslich die Linien gleicher Intensität (die Isodynamen) mit den Linien gleicher Wärme (den Isothermen, siehe Erkl. 377) grosse Aehnlichkeit zeigen (siehe Antw. der Frage 71, Seite 51), beweisen, dass die Sonne in ihrem täglichen und jährlichen Umlaufe eine Wirkung auf die erdmagnetische Kraft ausübt, was sich wiederum bis jetzt nur deuten lässt, wenn der Sitz des Erdmagnetismus in, bezw. direkt unter der Oberfläche der Erde angenommen wird, indem sich nicht erklären lässt, wie sich der Einfluss der Sonne in das Innere der Erde geltend machen sollte (siehe Erkl. 378).

Erkl. 377. Unter den Isothermen (vom gr. ἴσος, d. h. gleich, und θέρμα, d. h. Wärme) versteht man auf Karten verzeichnete Linien, ähnlich wie die Isogonen, Isoklinen und Isodynamen, welche die Punkte der Erde verbinden, die gleiche mittlere Jahrestemperatur haben. (Siehe Kleyers Lehrbuch der Wärme.)

Erkl. 378. Wie nachgewiesen ist, dass die periodischen täglichen und jährlichen Schwankungen der magnetischen Konstanten des Erdmagnetismus von den Wärmeschwankungen der Erde abhängen, kann es auch möglich sein, dass die säkularen Schwankungen derselben auch von Wärmeschwankungen abhängen. Dies jedoch zu behaupten, dazu fehlen die durch Jahrhunderte zu machenden Beobachtungen.

Ursache der erdmagnetischen Kraft ist die, welche sich auf die *Gauss*schen und *Weber*schen mathematischen Untersuchungen stützt (siehe Erkl. 375) und von *Lamont* (siehe Erkl. 374) aufgestellt wurde; dieselbe besteht in folgendem:

Lamont nahm den Sitz der erdmagnetischen Kraft in einer unter der Erdrinde liegenden dichteren, von metallischen Adern durchzogenen Schicht, der sogenannten Erdkruste, welche von ungleicher Dicke ist und mehr oder weniger den Erhebungen und Senkungen der Erdrinde folgt, an. Diese Hypothese *Lamonts* kommt insofern der Wahrheit am nächsten, als sich erstens durch dieselbe der teilweise unregelmässige Verlauf der auf den magnetischen Karten verzeichneten Isogonen, Isoklinen und Isodynamen erklären lässt, und als sich zweitens durch dieselbe die periodischen Veränderungen der magnetischen Konstanten: Deklination, Inklination und Intensität, auf die wahrscheinlichsten Ursachen derselben, nämlich auf die tägliche und jährliche ungleichmässige Erwärmung der Erdoberfläche und der darunter befindlichen Erdschicht durch den veränderlichen Lauf der Sonne zurückführen lassen. Durch alle Beobachtungen ist nämlich bewiesen, dass von einer ungleichen Erwärmung, von den Temperaturunterschieden, die Stärke der magnetischen Kraft abhängig ist (siehe Antwort der Frage 71, Seite 51), und dass somit die periodischen täglichen und jährlichen Schwankungen der drei magnetischen Konstanten des Erdmagnetismus von dem Lauf der Sonne abhängen (siehe Erkl. 376).

Was die Ursache der magnetischen Kraft anbetrifft, deren Sitz nach *Lamonts* Hypothese sich direkt unter der Oberfläche der Erde befindet, so kann man annehmen, dass die unter der Erdrinde befindliche kompaktere eisenhaltige Erdkruste entweder selbst mit einem permanenten Magnetismus begabt ist, oder dass durch Temperaturverschiedenheiten und andre Einflüsse in dieser Erdkruste elektrische bezw. galvanische Ströme erregt werden, welche sich auf

der Erdoberfläche in bezug auf Magnete in ihrer Wirkung so äussern, als ob die Erde im allgemeinen ein von Norden nach Süden gerichteter Magnet sei. (Siehe Kleyers Lehrb. des Elektromagnetismus.)

11). Ueber die theoretischen Untersuchungen des Erdmagnetismus von Gauss.

Frage 146. Worin bestehen im allgemeinen die von *Gauss* entwickelten theoretischen Untersuchungen in betreff des Erdmagnetismus?

Antwort. Die von *Gauss* entwickelten und von *Gauss* und *Weber* (siehe die Erkl. 245, Seite 87 und die Erkl. 379) veröffentlichten theoretischen Untersuchungen über den Erdmagnetismus bestehen im allgemeinen in folgendem:

Gauss vermied jede willkürliche Annahme (Hypothese) in betreff der inneren Verteilung des Erdmagnetismus, bezw. in betreff des Sitzes und der Ursache der erdmagnetischen Kraft, indem er mittels der sogenannten „Potentialtheorie“ (siehe Erkl. 380) bewies, dass jede beliebige innere Verteilung, nach ihrer äusseren Wirkung beurteilt, auf eine Schicht der Oberfläche zurückgeführt werden kann, und zwar so, dass die Wirkung in jedem Punkte des äusseren Raumes dieselbe bleibt, und weiterhin nur die auf der Oberfläche der Erde sich offenbarende Gesamtwirkung der magnetischen Erdkraft in Erwägung zog. *Gauss* ging in seiner Entwickelung von dem Grundsatz aus, dass die Induktion und Erregung des Magnetismus im Eisen in der Scheidung der Magnetismen eines jeden Eisenteilchens, eines jeden Elementarmagnetchens besteht (siehe Erkl. 380), entwickelte hiernach seine Potentialtheorie für den Magnetismus und zeigte, dass es nur der Kenntnis des sogenannten „magnetischen Potentials“, welches sich, wie später gezeigt wird, aus genauen Beobachtungen des Erdmagnetismus bestimmen lässt, bedarf, um daraus die magnetischen Konstanten: Deklination, Inklination und Intensität eines Ortes sofort bestimmen zu können.

Erkl. 379. *Wilhelm Eduard Weber*, Physiker, geb. 21. Oktober 1803 zu Wittenberg, wurde im Jahr 1855 Direktor der Sternwarte zu Göttingen und gab unter anderm mit *Gauss* (siehe Erkl. 245, Seite 87) die erwähnten Resultate der Beobachtungen des magnetischen Vereins heraus.

Erkl. 380. Die Wirkungen aller der Kräfte (Agentien), welche wie die Schwerkraft der Erde (Gravitation), wie der freie Magnetismus, oder wie die Elektrizität in der Materie ihren Sitz haben und in derselben physikalische Erscheinungen, wie Anziehung und Abstossung etc. hervorbringen, dabei dem in der Erkl. 371 für den Magnetismus erwähnten allgemeinen Gesetz der Anziehung und Abstossung:

> „Die Anziehung oder Abstossung gleichnamiger oder ungleichnamiger Fluidien ist dem Produkt ihrer Massen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional“

folgen, können auf einige allgemeine Grundsätze zurückgeführt werden, deren Kenntnis und Entwickelung die sogenannte „Potentialtheorie“ ausmachen. Bei der Entwickelung dieser Theorie für den freien Magnetismus wird angenommen, was auch *Gauss* in seiner Entwickelung that, dass die Induktion und Erregung des Magnetismus im Eisen in einer Scheidung der Magnetismen jedes Eisenteilchens bestehe (siehe Antwort der Frage 51).

Da später in dem Kapitel: „Der Elektromagnetismus“ eine andre allgemeine Erklärung der magnetischen Induktion gegeben wird, so ist, obgleich die Entwickelung der Potentialtheorie dieselbe bleibt, diese Potentialtheorie in einem besonderen Kapitel abgehandelt. Im II. Teil des Magnetismus finden sich an geeigneten Stellen Hinweise auf dieselbe.

Erkl. 381. Die Entwickelung der Potentialtheorie des Magnetismus rührt nicht von *Gauss* allein her. *Poisson* gab die Grundlage zur Po-

tentialtheorie, *Green*, *Beer*, *Thomson*, *Wiedemann*, *Neuman* u. a. entwickelten dieselbe weiter, *Gauss* jedoch brachte sie zum Abschluss.

Erkl. 382. Nach der theoretischen Bestimmung von *Gauss* ist die magnetische Erdaxe nicht die Verbindungslinie der beiden magnetischen Pole der Erde (was sich auch teilweise aus den magnetischen Intensitätskarten, siehe Erkl. 355, ergibt), sondern es ist die Verbindungslinie der beiden Punkte, welche 77° 50′ nördl. Breite, 296° 29′ Länge von Greenwich, bezw. 77° 50′ südl. Breite und 116° 29′ Länge von Greenwich liegen. Diese theoretisch bestimmte Axe bildet mit den durch die magnetischen Pole gehenden Linien einen Winkel von 2° 5′.

Erkl. 383. Was das magnetische Moment (siehe Erkl. 384) der Erde anbetrifft, so fand *Gauss* hierfür = 853000 Quadrillionen seiner absoluten Masseinheiten (siehe Erkl. 385).

Da nun das magnetische Moment eines 1-pfündigen Magnetstabes (wie ihn *Gauss* bei seinen Experimenten anwandte) = 100877000 seiner absoluten Masseinheiten beträgt, so ergibt sich hieraus für die Gesammtstärke des Erdmagnetismus, dass 8464 Trillionen jener, mit ihren Axen parallel gleich gerichteten 1pfündigen Magnetstäbe erforderlich wären, um dieselbe magnetische Wirkung nach aussen hervorzubringen als die Erde.

Ferner ergibt sich aus diesen Rechnungen, dass wenn der Erdmagnetismus in der ganzen Erde gleichmässig verteilt wäre, jeder Kubikmeter Erde dieselbe magnetische Wirkung hätte, als 8 jener 1pfündigen mit ihren Axen gleichgerichteten Magnetstäbe.

Erkl. 384. Die Erklärung des magnetischen Moments (d. i. das Produkt aus der magnetischen Masse in die Entfernung der Pole eines Magnets) wird im II. Teil des Magnetismus gegeben.

Erkl. 385. Als absolute Masseinheit nahm *Gauss* die Quantität magnetischen Fluidums an, welche auf eine ebenso grosse Quantität desselben Fludiums in der zur Einheit angenommenen Entfernung eine bewegende Kraft ausübt, die der zur Einheit angenommenen gleich ist. (Ausführliches über die magnetischen Einheiten findet man im II. Teil des Magnetismus.)

Erkl. 386. Die Entwickelung der Theorie von *Gauss* besteht einesteils aus magnetischen Gesetzen, die bis hierher noch nicht vorgeführt wurden, andernteils besteht sie aus weitläufigen mathematischen Entwickelungen und ist deshalb an dieser Stelle nicht aufgenommen. Die ganzen *Gauss*schen diesbezüglichen Versuche finden sich im 3. Bande der Resultate aus den Beobachtungen des Magnetischen Vereins zu Göttingen.

Im übrigen siehe den II. Teil des Magnetismus.

Gauss hat die im Jahre 1833 an 84 Orten ziemlich gleichzeitig angestellten Beobachtungen der drei magnetischen Konstanten zur Bestimmung des magnetischen Potentials benutzt und hiernach eine umfassende theoretische Berechnung der auf den magnetischen Karten verzeichneten Kurven angestellt und seine aus mathematischen Formeln erhaltenen Resultate mit den Beobachtungen, die später an 91 Orten angestellt wurden, verglichen, woraus sich ziemlich genau übereinstimmende Resultate ergaben, so dass man durch die mathematische *Gauss*sche Theorie die klarste und vollständigste Uebersicht erhält.

Mittels der *Gauss*schen Theorie gelang es, den magnetischen Zustand der Erde durch Rechnung zu finden, indem sich hiernach nicht allein die drei magnetischen Konstanten eines jeden Ortes, unter Voraussetzung der Kenntnis des bereits erwähnten magnetischen Potentials, mittels einer diesbezüglichen Formel berechnen lassen, sondern indem sich hiernach auch die Lage der magnetischen Erdaxe (siehe Erkl. 382) und das sogenannte magnetische Moment der ganzen Erde, bezw. die Totalstärke des ganzen Erdmagnetismus berechnen lässt (siehe Erkl. 383).

Auf den inneren magnetischen Zustand der Erde kann auch aus der *Gauss*schen Theorie nicht geschlossen werden, indem, wie schon oben erwähnt, jede innere magnetische Verteilung, nach ihrer äusseren Wirkung beurteilt, auf eine Schicht an der Oberfläche zurückgeführt werden kann, wovon gerade *Gauss* seine Theorie ableitete, mithin jene innere magnetische Verteilung im allgemeinen nicht berücksichtigte, und hiernach dieselbe eine beliebige sein und auch beliebige Ursachen haben kann

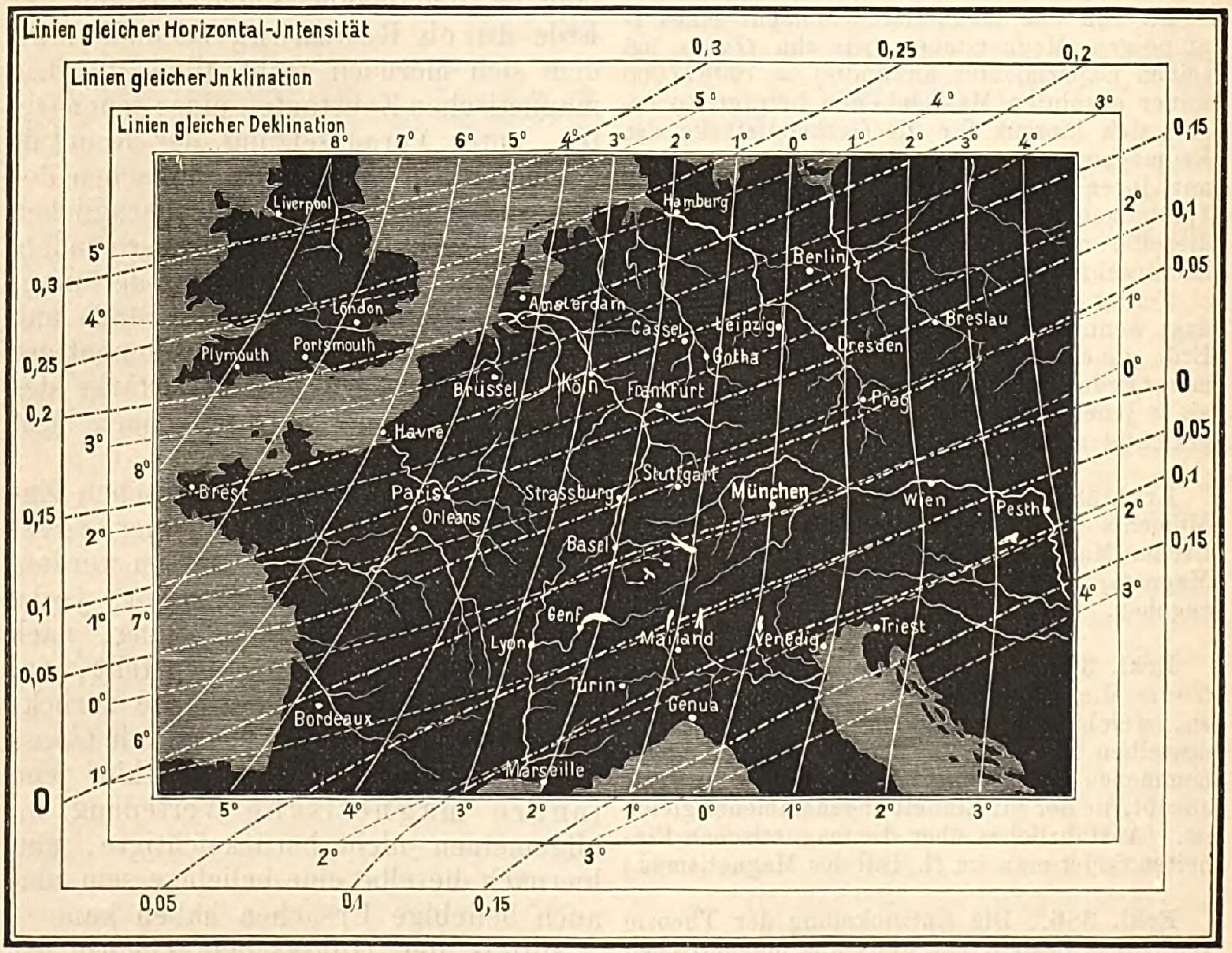
Mittels der *Gauss*schen Theorie ist bewiesen, dass der Sitz der erdmagnetischen Kraft im Innern der Erde sein muss und sind ausserdem durch dieselbe die früheren Hypothesen von *Mayer*, *Biot*, *Hansteen* (siehe Antwort der Frage 145) widerlegt, während die Theorie *Lamonts* dadurch unterstützt wird. In welcher

Erkl. 387. Gestützt auf die mathematischen Untersuchungen von *Gauss* hat *Lamont* mit den besten und übereinstimmendsten Instrumenten die Werte der magnetischen Konstanten des mittleren Europa revidiert und in guten Karten zusammengestellt. Die unten beigegebene Karte X stellt einen Auszug jener Karte für das mittlere Europa dar. In derselben bedeuten die ausgezogenen Linien die Linien gleicher Deklination, die gestrichelten Linien die Linien gleicher Inklination, und die strichpunktierten Linien die Linien gleicher Intensität (Horizontalintensität). Die diesen Linien beigedruckten Werte beziehen sich auf München, welchen die Werte „0“ entsprechen. Die Intensitätswerte beziehen sich auf das *Gauss*sche absolute Mass.

Weise sie angeordnet ist und welche Ursache hier zu Grunde liegt, dies bleibt, wie oben erwähnt, dahingestellt.

Bemerkt sei noch, dass eine vollständige Theorie des Erdmagnetismus auch die regelmässigen säkularen Veränderungen der drei magnetischen Konstanten in sich aufnehmen müsste, wozu aber das bis jetzt existierende Beobachtungsmaterial nicht hinreicht.

Karte X. Zusammenstellung der Isogonen, Isoklinen und Isodynamen für das mittlere Europa nach Lamonts Angaben.



II. Teil.

(Mathematischer Teil.)

A). Ueber die Messung der magnetischen Kraft der Magnete.

1). Ueber die Messung der magnetischen Kraft durch die Tragkraft der Magnete.

(Häckers Formel.)

Frage 147. Auf welche Weise versuchte man die Intensität (Grösse, Stärke) der magnetischen Kraft eines Magnets zu messen?

Antwort. Die Intensität (Grösse, Stärke) der magnetischen Kraft eines Magnets suchte man durch die Tragkraft desselben zu messen, indem man von der Voraussetzung ausging, dass ein Magnet eine um so grössere magnetische Kraft besitzen muss, je grösser das Gewicht ist, das er bei Vergleichung mit andern Magneten zu tragen im stande ist.

Frage 148. Wie bestimmt man die Tragkraft von Stab- und Hufeisenmagneten; und wie heisst insbesondere die von *Häcker* aufgestellte Formel, mittels welcher die Tragkraft eines Hufeisenmagnets aus dem Gewichte desselben berechnet werden kann?

Erkl. 388. Die nach nebenstehender Antwort bestimmte Tragkraft eines Magnets ist offenbar die Resultierende (siehe Erkl. 157[a], Seite 58) aus allen den Molekularanziehungen und Abstossungen zwischen dem freien Magnetismus des ganzen Magnets und dem durch ihn erregten freien Magnetismus des angelegten ganzen Ankers (siehe Erkl. 136, Seite 48).

Da bei Stabmagneten nur einer der Pole dem Anker nahe liegt, der andre aber weiter entfernt ist, so hat man bei demselben nur auf die Anziehung des ersteren Rücksicht zu nehmen.

Erkl. 389. Die Versuche *Häckers* sind in der Schrift: „Zur Theorie des Magnetismus von *P. W. Häcker*, Nürnberg 1856" enthalten. Siehe auch: *Häcker*, *Poggendorf*, Annal. Bd. 57.

Erkl. 390. Der in nebenstehender Formel 1:

$$S = a \cdot \sqrt[3]{P^2}$$

vorkommende im allgemeinen konstante Faktor a ist abhängig von der Beschaffenheit des Stahls (seiner Koercitivkraft) und

Antwort. In der Antwort der Frage 68, Seite 48 ist bereits gezeigt, dass man im allgemeinen die Tragkraft eines Stab- oder Hufeisenmagnets bestimmt, indem man an eine Polfläche des Stabes, oder an die Polflächen des Hufeisens ein weiches Eisenstück, den sogenannten Anker anlegt, daran eine Wage befestigt und Gewichte bis zum Abreissen des Ankers auflegt und dann das Totalgewicht des Ankers, der Wage und der aufgelegten Gewichte bestimmt (siehe die Erkl. 132, 133, 135, 136 und 137, Seite 48, die Erkl. 145, Seite 72, und die Erkl. 388).

Bei der Bestimmung der Tragkraft der Magnete ergab sich, dass, wie schon früher erwähnt (siehe Erkl. 148, Seite 53), die Tragkraft nicht proportional ihrer Grösse und Schwere wächst. Der Physiker *Häcker* stellte mit stählernen Hufeisenmagneten hierüber sorgfältige Versuche an (siehe Erkl. 389), und fand mittels seiner Versuche auf empirischem

von der zu Grunde gelegten Gewichtseinheit, dagegen ist er fast nicht abhängig von der Dicke und Länge des Hufeisens und von der Entfernung der beiden Pole desselben.

Je nachdem man guten oder schlechteren Stahl verwendet, variiert der Wert für a zwischen 19,246 und 6,687 kg.

Die Firma *N. van Wetteren* in Harlem soll Hufeisenmagnete anfertigen, in welchen der Durchschnittswert für den konstanten Faktor $a = 21$ kg beträgt.

Bei den von *Häcker* benutzten Hufeisenmagneten betrug $a = 10{,}33$.

Erkl. 391. Für die Tragkraft S eines Hufeisenmagnets vom Gewichte P hat man nach nebenstehender Formel:

a). . . . $S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$

Denkt man sich diesen Magnet in n gleich schwere kleinere Magnete zerlegt, so hat man für die Tragkraft s eines solchen:

$$s = a \,.\, \sqrt[3]{\left(\frac{P}{n}\right)^2}$$

oder für die Totaltragkraft S_1 aller dieser n kleinen Magnete:

$$S_1 = n \,.\, s = na \sqrt[3]{\left(\frac{P}{n}\right)^2}$$

oder, da

$$S_1 = na \left(\frac{P}{n}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{naP^{\frac{2}{3}}}{n^{\frac{2}{3}}} = n^{1-\frac{2}{3}} aP^{\frac{2}{3}} =$$

$$n^{\frac{1}{3}} aP^{\frac{2}{3}} = \sqrt[3]{n} \,.\, a\sqrt[3]{P^2}$$

gesetzt werden kann und nach Gleichung 1). $a \,.\, \sqrt[3]{P^2} = S$ ist:

b). . . . $S_1 = \sqrt[3]{n} \,.\, S$

Setzt man in dieser Gleichung z. B. $n = 10$ oder $= 100$, so erhält man bezw.:

α). $S_1 = \sqrt[3]{10} \,.\, S = 2{,}15 \,.\, S$

β). $S_1 = \sqrt[3]{100} \,.\, S = 4{,}64 \,.\, S$

d. h. *die Gesamtkraft jener 10, bezw. 100 kleinen Magnete ist 2,15, bezw. 4,64 mal so gross als die Kraft eines Magnets, der an Masse gleich jenen 10, bezw. 100 Magneten ist*; es ist also nicht die Kraft proportional der Masse, bezw. dem Gewichte.

Erkl. 392. Setzt man in der Formel 1:

$$S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$$

$P = S$, so erhält man:

Wege, dass die Tragkraft S, welche überhaupt einem stählernen Hufeisenmagnet oder einem Stabmagnet erteilt werden kann, näherungsweise durch die

Formel 1 . . . $S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$

in welcher P das in kg ausgedrückte Gewicht und a einen konstanten, aber für Hufeisen- und Stabmagnete *verschiedenen* Faktor, nämlich die Tragkraft eines entsprechenden Magnets vom Gewichte $= 1$ kg ($=$ Eins) bedeutet, berechnet werden kann (siehe Erkl. 390).

Für die Hufeisenmagnete, welche *Häcker* bei seinen Versuchen benutzte, betrug $a = 10{,}33$ kg; für die Stabmagnete, welche er benutzte, betrug $a = 9{,}89$ kg. Für den abgerundeten Wert von $a = 10$ kg erhält man mittels vorstehender Formel, dass einem Magnet

von	0,5 kg Gew.	eine Tragkr.	$S =$	6,3 kg	bezw.
„	1,0 „	„	„ $=$	10,0 „	„
„	1,5 „	„	„ $=$	13,1 „	„
„	2,0 „	„	„ $=$	15,8 „	„
„	5,0 „	„	„ $=$	29,2 „	„
„	10,0 „	„	„ $=$	46,4 „	„
„	20,0 „	„	„ $=$	73,7 „	„
„	30,0 „	„	„ $=$	96,6 „	„
„	40,0 „	„	„ $=$	117,0 „	„
„	50,0 „	„	„ $=$	136,0 „	„
„	100,0 „	„	„ $=$	215,5 „	„

entspricht.

Aus der vorstehenden Formel und aus den vorstehend berechneten Werten ersieht man wiederum, dass die Tragkraft eines Magnets viel langsamer zunimmt, als das Gewicht desselben, *mithin nicht proportional* dem letzteren wächst (siehe die Erkl. 391—393). In welcher Weise hingegen die Tragkraft von dem Gewichte abhängig ist, ergibt sich aus folgendem: Hat man 2 Magnete von den Gewichten P und P_1 und man bezeichnet die Tragkraft beider bezw. mit S und S_1, so bestehen nach der Formel 1 für die Tragkräfte beider Magnete, unter der Voraussetzung, dass die Konstante a für beide Magnete dieselbe ist, dass also beide Magnete gleiche magnetische Beschaffenheit haben, die Relationen:

a). $S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$

b). $S_1 = a \,.\, \sqrt[3]{P_1^{\,2}}$

$$S = a \sqrt[3]{S^2}$$

$$S = a S^{\frac{2}{3}}$$

$$S : S^{\frac{2}{3}} = a$$

$$S^{\frac{3}{3} - \frac{2}{3}} = a$$

$$S^{\frac{1}{3}} = a \quad \text{oder:}$$

a). . . . $S = a^3$

Setzt man nunmehr $a = 10{,}33$, nämlich gleich dem konstanten Wert für a, welchen *Häcker* für seine Stahlmagnete fand, und löst diese Gleichung nach S auf, so erhält man:

$log\, S = 3 \,.\, log\, 10{,}33$ (siehe Erkl. 392a)
$log\, S = 3 \,.\, 1{,}0141003$
$log\, S = 3{,}0423009$
2998
mithin: 11
$S = 1102{,}3$ kg

d. h. ein bis zur Sättigung magnetisierter Magnet im Gewichte von 1102 kg vermag gerade sein eigenes Gewicht zu tragen.

Aus diesen Relationen folgt:

$$S^3 = a^3 \,.\, P^2$$
$$S_1^{\,3} = a^3 \,.\, P_1^{\,2}$$

woraus sich durch Division ergibt:

Formel 2 . . $S^3 : S_1^{\,3} = P^2 : P_1^{\,3}$

d. h. die 3[te] Potenzen der Tragkräfte zweier Magnete von gleicher magnetischer Beschaffenheit verhalten sich wie die Quadrate ihrer Gewichte.

Erkl. 392a. In betreff der Rechnung mit Logarithmen siehe man Kleyers Lehrbuch der Logarithmen.

Erkl. 393. Weitere Entwickelungen über die Tragkraft von Hufeisenmagneten findet man in Kleyers Lehrbuch: Der Elektromagnetismus.

Frage 149. Warum eignet sich nicht die Tragkraft eines Magnets zur Messung der magnetischen Kraft desselben?

Antwort. Die Tragkraft eines Magnets eignet sich nicht zur Messung der magnetischen Kraft desselben, weil:

1). die Tragkraft von dem in dem Anker erregten Magnetismus, bezw. von der Koercitivkraft des Materials, aus welchem der Anker besteht, abhängig ist, indem, wie schon in der Erkl. 136, Seite 48 erwähnt ist, infolge der induzierenden Rückwirkung des in dem Anker erregten Magnetismus (siehe den Schlusssatz der Erkl. 133, Seite 47) auf den Magnet, eine Aenderung der magnetischen Konstitution des letzteren hervorgerufen (siehe Erkl. 136, Seite 48) wird, welche gleichzeitig auch von der Gestalt und Grösse etc. des Ankers abhängig ist, und weil ferner

2). die Tragkraft nur an den äussersten Wirkungszentren, den Polen, bestimmt werden kann und abhängig ist von der grösseren oder geringeren Entfernung derselben (siehe die Erkl. 394).

Erkl. 394. Vergleicht man die Tragkräfte zweier gleichmässig magnetisierten prismatischen Magnetstäbe von gleicher Masse, von denen der eine aber z. B. halbe Länge und doppelten Querschnitt als der andre hat, so müsste man nach den bisherigen Vorstellungen über den magnetischen Zustand der Magnete (siehe Hypothese II, Seite 31), da hiernach in jenen zwei Magneten gleiche Anzahlen von Elementarmagneten parallel gleichgerichtet sind, annehmen dürfen, dass beide Magnete gleiche Tragkraft besitzen würden, was jedoch mit dem Experiment in keiner Weise übereinstimmt; woraus sich wiederum ergibt, dass die Tragkraft eines Magnets nicht allein von der Stärke desselben, sondern auch noch von andern Einflüssen abhängig ist, welche sich nicht mit in Rechnung ziehen lassen.

Aus allem diesem ergibt sich, dass die Tragkraft kein reines Mass für die Stärke eines Magnets sein kann, dass sich keine allgemein gültige Beziehungen zwischen Tragkraft und Stärke aufstellen lassen, und dass die Tragkraft nur dazu dienen kann, um die Stärke eines Magnets im Vergleich zu einem andern Magnet ungefähr zu schätzen, indem man mit Recht annehmen kann, dass bei einer Vergleichung zweier sonst gleichen Magnete demjenigen von grösserer Tragkraft auch eine grössere magnetische Kraft beizumessen ist.

Zur Messung der magnetischen Kraft muss man deshalb andre Mittel als die Tragkraft wählen und zwar solche, bei welchen vor allem keine Veränderung der magnetischen Konstitution des betreff. Magnets anzunehmen ist.

2). Ueber die Messung der magnetischen Kraft von Magnetstäben durch die magnetische Direktionskraft derselben.

a). Ueber die magnetische Direktionskraft als Mittel zur Messung der magnetischen Kraft der Magnete.

Frage 150. Welche besondere Eigenschaft der Magnete benutzt man, um deren magnetische Kraft auf eine Weise messen zu können, bei welcher keine Veränderung der inneren Konstitution, bezw. der Kraft derselben stattfindet?

Antwort. Wie schon früher erwähnt, nimmt jeder horizontal frei schwebende Magnetstab infolge der Einwirkung des Erdmagnetismus, oder wie man zu sagen pflegt, infolge seiner magnetischen Direktionskraft, eine ganz bestimmte horizontale Lage an und kehrt, aus dieser Lage herausgebracht, nach einer bestimmten Anzahl von Oscillationen in dieselbe zurück. Die beschleunigende Kraft nun, die sogen. Direktionskraft, unter deren Einfluss der Magnetstab die Oscillationen macht, bis er in jener bestimmten Lage zur Ruhe kommt, ist, wie im Laufe des Folgenden gezeigt wird, nur abhängig von der Intensität des Erdmagnetismus und von der Intensität der magnetischen Kraft des Magnets. Durch diese Eigenschaft der Magnete ist die Möglichkeit gegeben, bei konstanter In-

Erkl. 395. Der französische Physiker *Charles August de Coulomb*, geb. 14. Juni 1736 in Angoulême, † 23. August 1806, war der erste, der im Jahre 1780 genauere Methoden zur Messung der magnetischen Kraft der Magnete unter Benutzung der magnetischen Direktionskraft aufstellte und nach dieser Richtung den Weg anbahnte [siehe den späteren Abschnitt c).]

tensität des Erdmagnetismus auf die Intensität der magnetischen Kraft der Magnete und auch umgekehrt (siehe Erkl. 396) zu schliessen und somit ein reines Mass für die magnetische Kraft der Magnete auffinden zu können (siehe Erkl. 395). In welcher Weise dies geschehen kann, ergibt sich aus nachfolgenden Abschnitten.

Erkl. 396. Wie in einem späteren Abschnitt gezeigt wird, kann man aus der bekannten magnetischen Kraft eines Magnets auf die Intensität des Erdmagnetismus schliessen.

b). Ueber die Verteilung des Magnetismus in Magnetstäben.

(Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus.)

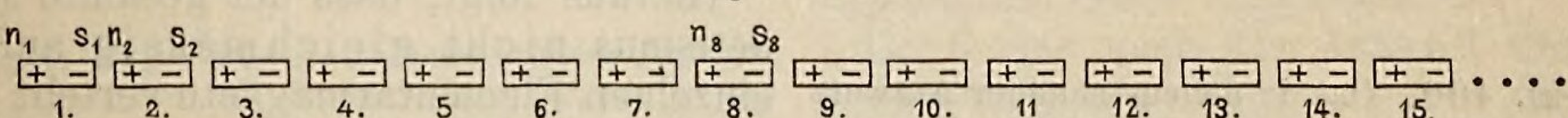
Frage 151. Wovon ist die sich äussernde Kraft eines Magnets, in bezug auf den Magnet selbst, abhängig?

Antwort. Die sich äussernde Kraft eines Magnets ist gleich der Gesamtwirkung des freien Magnetismus aller einzelnen Teilchen des Magnets und ist somit, in bezug auf den Magnet selbst, abhängig von der Verteilung des freien Magnetismus in demselben; letztere ist wiederum abhängig von der Verteilung des gesamten Magnetismus. (Siehe den Abschnitt 5)., Seite 17).

Frage 152. In welcher Weise ist der gesamte Magnetismus in einem Magnetstab angeordnet, bezw. verteilt?

Antwort. Um eine Vorstellung von der Verteilung, bezw. von der Anordnung des gesamten Magnetismus in einem Magnetstab zu bekommen, mag folgende theoretische Betrachtung, welcher im allgemeinen die in Antwort der Frage 51 angeführte Hypothese II zu Grunde liegt, dienen.

Figur 125.



Hat man einen vollständig gesättigten Magnetstab, so müssen nach jener Hypothese II in seiner Längsrichtung die Molekular- oder Elementarmagnete im allgemeinen so gelagert sein, wie in der Figur 125 angedeutet ist, welche eine einzelne Reihe solcher Elementarmagnete darstellt (siehe auch Figur 38, Seite 31). Wollte man nun annehmen, dass in den einzelnen Molekularmagneten der Magnetismus gleich stark vorhanden wäre, so wird sich bald er-

Erkl. 397. In nebenstehender Entwickelung muss berücksichtigt werden, dass die Elementarmagnete unendlich klein sind, dass also die Anzahl derselben unendlich gross ist und dass die induzierende Wirkung der einzelnen Elementarmagnete aufeinander mit ihrer Entfernung schwächer wird (nach welchem Gesetz dies stattfindet, ist in einem späteren Abschnitt gezeigt). Aus diesen Gründen kann man annehmen, dass die induzierende Wirkung der dem ersten Elementarmagnet (siehe Figur 125) folgenden Elementarmagnete auf jenen ersten Elementarmagnet gerade so stark ist als die induzierende Wirkung der dem zweiten, dritten etc. Elementarmagnet folgenden Elementarmagnete auf jenen zweiten, dritten etc. Elementarmagnet.

Erkl. 398. Die in nebenstehender Antwort theoretisch ausgesprochene Behauptung wird experimentell wie folgt bestätigt:

1). wenn man eine magnetisierte Stricknadel in kleine Teile zerbricht, so sind die mittleren Stückchen stärker magnetisch als die Endstücken, was man dadurch erkennt, dass erstere Stückchen die Fähigkeit haben, grössere Eisenteilchen anzuziehen als letztere, oder

2). wenn man mehrere Stahlstäbchen von gleicher Stärke so aneinander legt, dass sie einen längeren Stab bilden und dann alle diese Stückchen zusammen so magnetisiert, als bildeten sie einen Stab. Mittels dieses Experiments wird man ebenfalls finden, dass nach dem Magnetisieren die Stückchen, welche in der Mitte liegen, stärker magnetisch sind als diejenigen, welche an den Enden liegen (siehe Erkl. 399).

Erkl. 399. Ob die stetige Zunahme des gesamten Magnetismus von den Enden nach der Mitte zu auf eine durch das Magnetisieren stärkere Drehung (siehe Hypothese II, Seite 31) der Moleküle (der einzelnen Elementarmagnete) oder auf die Drehung zahlreicherer Moleküle in der Mitte als an den Enden zurückzuführen ist, konnte noch nicht erwiesen werden.

Erkl. 400. Das in nebenstehender Antwort entwickelte Gesetz der Zunahme des gesamten Magnetismus nach der Mitte kann auch, wie *van Rees* mittels der Formel *Biots* (siehe Erkl. 405 und *Poggendorffs* Annalen, Bd. 70) dargethan hat, aus der durch das Experiment beobachteten Verteilung des freien Magnetismus (siehe die Antworten der folgenden Fragen 153 und 154) abgeleitet werden.

geben, dass dies nach den bis jetzt aufgestellten Gesetzen und gemachten Erfahrungen nicht der Fall sein kann, denn: Der erste Elementarmagnet, siehe Figur 125, ist der induzierenden Wirkung sämtlicher folgenden Elementarmagnete (vom zweiten ab) ausgesetzt, wodurch der Magnetismus des ersten Elementarmagnets gestärkt wird, weil die Elementarmagnete mit ihren ungleichnamigen Polen aneinander liegend gedacht werden müssen (siehe Antw. der Frage 48, Seite 28). Der zweite Elementarmagnet ist ebenfalls, wie der erste, der induzierenden Wirkung sämtlicher folgenden Elementarmagnete (vom dritten ab) ausgesetzt, wodurch der Magnetismus desselben gerade so gestärkt wird wie der des ersten Elementarmagnets (siehe Erkl. 397), er ist aber auch noch der verstärkenden induzierenden Wirkung des ersten Elementarmagnets ausgesetzt und wird infolgedessen magnetisch stärker als der erste Elementarmagnet. Dasselbe gilt vom dritten Elementarmagnet in bezug auf den zweiten u. s. f. bis zur Mitte des Magnetstabs. Vom andern Ende des Magnetstabs ab bis zur Mitte kann man dasselbe für die einzelnen Elementarmagnete nachweisen.

Hieraus folgt, dass der gesamte Magnetismus nicht gleichmässig auf die einzelnen Elementarmagnete verteilt sein kann, dass hingegen von den beiden Enden gegen die Mitte hin die Elementarmagnete magnetisch stärker sein müssen, dass somit die magnetische Polarität nach der Mittte des Magnetstabs stetig wachsen muss, bezw. dass in bezug auf die Anordnung des gesamten Magnetismus derselbe von den Enden nach der Mitte hin zunimmt (siehe die Erkl. 398 bis 400).

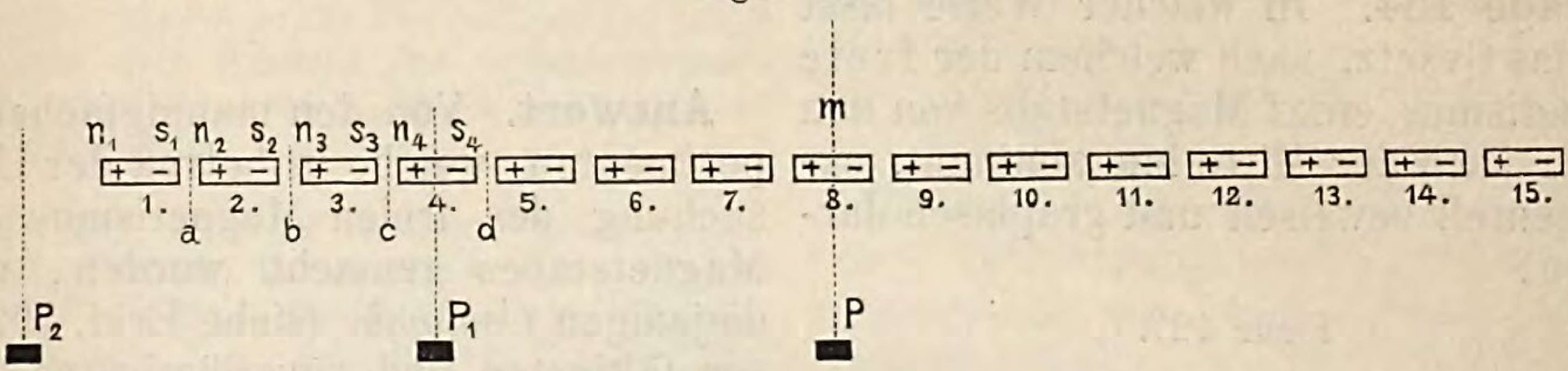
Frage 153. In welcher Weise ist der freie Magnetismus in einem Magnetstab angeordnet, bezw. verteilt?

Antwort. Um eine Vorstellung von der Verteilung, bezw. von der Anordnung des freien Magnetismus in einem Magnetstab zu bekommen, mag folgende theoretische Betrachtung dienen.

Die magnetische Wirkung an irgend

einer Stelle, einem Punkte des Stabes nach aussen ist gleich der Differenz $m - m_1$ der Magnetismen m und m_1, welche die an den betreffenden Punkten aneinanderstossenden entgegengesetzten Pole der gedachten Elementarmagnete enthalten; denn was das $+$ Fluidum $(+ m)$, bezw. der nördliche Magnetismus m abstösst, wird von dem $-$ Fluidum $(- m_1)$, bezw. von dem südlichen Magnetismus m_1 angezogen, der Ueber-

Figur 126.



schuss $m - m_1$, den der nördliche Magnetismus m über den südlichen Magnetismus m_1 hat, bezw. die algebraische Summe: $(+ m) + (- m_1)$, d. i. $= m - m_1$ dieser durch die entgegengesetzten Zeichen $+$ und $-$ dargestellten entgegengesetzten Fluidien $+ m$ und $- m_1$, ist die nach aussen restierende magnetische Wirkung an dem betreff. Punkte, ist also der an diesem Punkte sich äussernde sogenannte freie Magnetismus.

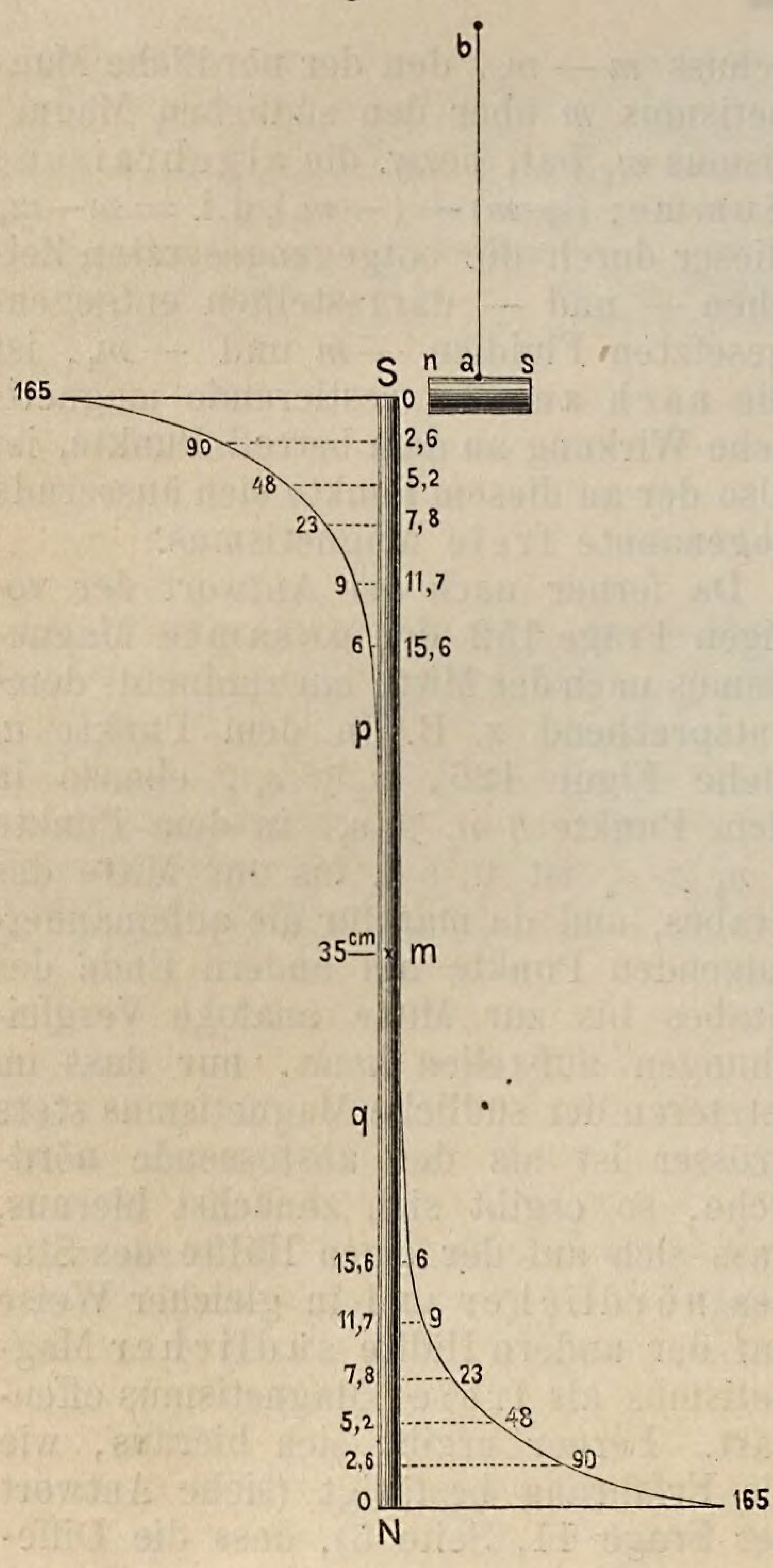
Da ferner nach der Antwort der vorigen Frage 152 der gesamte Magnetismus nach der Mitte hin zunimmt, dementsprechend z. B. in dem Punkte a, siehe Figur 126, $n_2 > s_1$, ebenso in dem Punkte b $n_3 > s_2$, in dem Punkte c $n_4 > s_3$ ist u. s f. bis zur Mitte des Stabes, und da man für die aufeinanderfolgenden Punkte am andern Ende des Stabes bis zur Mitte analoge Vergleichungen aufstellen kann, nur dass im letzteren der südliche Magnetismus stets grösser ist als der anstossende nördliche, so ergibt sich zunächst hieraus, dass sich auf der einen Hälfte des Stabes nördlicher und in gleicher Weise auf der andern Hälfte südlicher Magnetismus als freier Magnetismus offenbart. Ferner ergibt sich hieraus, wie die Erfahrung bestätigt (siehe Antwort der Frage 11, Seite 5), dass die Diffe-

Erkl. 401. Die in nebenstehender Antwort und durch frühere Experimente vollauf bestätigte Behauptung, dass der freie Magnetismus von der Mitte nach dem Ende zu abnimmt, lässt sich theoretisch beweisen, ohne dass man von der Voraussetzung ausgeht, dass die Elementarmagnete von den Enden nach der Mitte zu magnetisch stärker werden. Man könnte hier auch annehmen, die Elementarmagnete wären sämtlich gleich stark magnetisch. Alsdann würde z. B. ein im Punkte P, siehe Figur 126, befindliches Eisenstückchen keine Anziehung erleiden, da es der Wirkung gleicher aber entgegengesetzter Magnetismen ausgesetzt ist; ferner würde ein im Punkte P_1 befindliches Eisenteilchen einmal der Wirkung der Elementarmagnete 1—7 ausgesetzt sein und infolge der gleichen aber entgegengesetzten Magnetismen derselben keine Anziehung erleiden, es würde aber auch noch der induzierenden Wirkung der Elementarmagnete 8—15, welche ihm sämtlich die Nordpole zukehren, ausgesetzt sein und darnach eine Anziehung erleiden. Eine entsprechende stärkere Anziehung würde aber das in P_2 befindliche Eisenteilchen u. s. f. erhalten.

renzen (bezw. die algebraischen Summen) der in jedem Punkte aneinander grenzenden entgegengesetzten Magnetismen (bezw. der positiven und negativen Fluidien) von den Enden nach der Mitte zu abnehmen müssen, oder dass der freie Magnetismus, entgegengesetzt dem gesamten Magnetismus, von den Enden nach der Mitte hin abnimmt (siehe Erkl. 401).

Frage 154. In welcher Weise lässt sich das Gesetz, nach welchem der freie Magnetismus eines Magnetstabs von den Enden nach der Mitte hin abnimmt, experimentell beweisen und graphisch darstellen?

Figur 127.



Antwort. Von den mannigfachen Experimenten, welche in betreff der Untersuchung des freien Magnetismus eines Magnetstabes gemacht wurden, waren diejenigen *Coulombs* (siehe Erkl. 402) die sorgfältigsten und zuverlässigsten. Dieselben bestanden in folgendem:

Coulomb wandte bei seinen diesbezügl. Experimenten die Schwingungsmethode an. An einem Seidenfaden *ab*, siehe Fig. 127, hing *Coulomb* ein 13,5 mm langes und 6,7 mm dickes, möglichst vollständig magnetisiertes und aus sehr hartem Stahl bestehendes Magnetstäbchen *ns*, Probiernadel genannt, so auf, dass sie sich in horizontaler Ebene frei bewegen konnte. Nachdem er die Dauer, bezw. die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel infolge des Einflusses des Erdmagnetismus bis zu ihrer Ruhelage machte, beobachtet hatte (s. Erkl. 403), näherte er den stets vertikal gehaltenen und zu untersuchenden Magnetstab *NS*, siehe Figur 127, welcher eine Dicke von circa 5 mm und eine Länge von circa 70 mm besass der in langsame Schwingungen versetzten Probiernadel so, dass sich die Axe des Magnetstabs *NS* in dem magnetischen Meridian (d. i. die durch die magnetische Axe der in Ruhe befindlichen Probiernadel gelegte Vertikalebene) befand und von dem einen Ende derselben einen Abstand von ca. 18 mm hatte. Hierbei machte nun *Coulomb* die Wahrnehmung, dass wenn der auf diese Weise gehaltene Magnetstab *NS* z. B. mit seinem Südpol dem Nordpol der Nadel gegenüberstand, wie die Figur 127 zeigt, die

Erkl. 402. In betreff der Experimente *Coulombs* findet man ausführliches in: Coulomb, De la métherie observat. sur le physique. 1793.

Erkl. 403. In betreff der sogen. Schwingungsmethode, der Bestimmung der Schwingungsdauer etc. siehe man die betreffenden späteren Abschnitte.

Erkl. 404. Die an den Kurven in Figur 127 stehenden Zahlen sind die Resultate *Coulombs*. Welche Werte dies sind, ist nicht bekannt, da die Originalbeobachtungen *Coulombs* nicht vorhanden sind. Jedenfalls sind es die Differenzen der Quadratzahlen der Schwingungen, welche die Nadel an den betreffenden Stellen des genäherten Magnetstabs und welche sie lediglich unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht, also die bezügl. Werte von: $n_1^2 - n^2$ (siehe Erkl. 405).

Erkl. 405. Für die aus den Versuchen *Coulombs* dargestellten Intensitätskurven, siehe Figur 127, leitete der französische Physiker *Jean Baptiste Biot*, geb. 21. Apr. 1774 in Paris, in seiner Schrift: Biot, Traité de physique III, 1816, die empirische

Formel 3 . . $y = A\,(m^x - m^{2l-x})$

ab, in welcher x die von dem einen Ende des Stabes aufgetragenen Abscissen, y die entsprechenden Ordinaten, $2l$ die Länge des ganzen Stabes, A die magnetische Anziehung des äussersten Endes und m die magnetische Anziehung des Stabes am Ende der ersten, vom einen Ende des Stabes aufgetragenen Längeneinheit bedeutet.

Die Grössen A und m sind konstante Grössen, welche *Biot* aus den Angaben *Coulombs* mittels der

Formel 4 . . $A = \frac{D}{n^2}\,(n_1^2 - n^2)$ *)

berechnet. In dieser Formel 4 bedeutet A einmal jene Grösse A, ein andermal jene Grösse m, n bedeutet die Anzahl der Schwingungen der Nadel, wenn sie sich selbst überlassen bleibt, also nur dem Einfluss des Erdmagnetismus folgt; n_1 bedeutet die Anzahl der Schwingungen der Nadel, die sie macht, wenn irgend eine Stelle des Magnetstabs und zwar bei Bestimmung jener Grösse A, wenn das Ende o, bei Bestimmung jener Grösse m, wenn die Stelle, welche von der Stelle o um die Längeneinheit entfernt ist, siehe Figur 127, ihr gegenübersteht, und schliesslich bedeutet D die Direktionskraft der Nadel, welche sie in den Meridian zurükführt, wenn sie sich selbst überlassen bleibt und die bestimmt wird, wie es in dem späteren Abschnitt: „Ueber die Messung der magnetischen Direktionskraft“ gezeigt wird.

*) In betreff der Ableitung dieser Formel siehe man die entsprechende Erkl. in dem Abschnitt: „Ueber die Gesetze der Fernewirkung von Magneten aufeinander“.

Erkl. 406. Aus den Versuchen *Coulombs* und aus den hiernach gemachten Entwickelungen

Schwingungen der Nadel schneller erfolgten, als wenn z. B. die Stellen $p, q \ldots$ des Magnetstabs dem Nordpol der Nadel gegenüberstanden, dass überhaupt diese Schwingungen um so langsamer wurden, je näher die dem Nordpol der Nadel gegenüberstehenden Stellen des Stabes nach der Mitte desselben hin lagen, und dass schliesslich, wenn die Mitte m des Magnetstabs dem Nordpol der Nadel gegenüberstand, die Schwingungen der Nadel gerade so langsam wurden, als ob der Magnetstab NS nicht da wäre, bezw. als ob die Nadel nur unter dem Einfluss des Erdmagnetismus ihre Oscillationen machte.

Durch die auf diese Weise beobachteten Schwingungszahlen, welche die Probiernadel ns machte, wenn ihr verschiedene Stellen des Stabes NS gegenübergestellt wurden, konnte somit das Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus nach der Mitte hin festgestellt werden.

Graphisch lässt sich dieses Gesetz aus den von *Coulomb* gemachten Aufzeichnungen wie folgt darstellen:

Trägt man von dem einen Ende S des Magnetstabs NS, siehe Figur 127, aus die in Centimeter gegebenen Abständen (Abscissen), durch welche die Stellen markiert sind, an welchen von *Coulomb* die Schwingungsdauer oder die Schwingungszahlen beobachtet wurden, auf, errichtet alsdann in den somit erhaltenen Teilpunkten Senkrechte (Ordinaten) und trägt auf denselben die an den betreffenden Stellen beobachteten Verhältniszahlen der magnetischen Anziehungen, welche man aus dem in der Erkl. 342, Seite 124, aufgestellten Satze, dass die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen direkt proportional sind, bestimmen kann, proportional nach einer beliebigen Längeneinheit auf, so lässt sich aus den verschiedenen Längen dieser Senkrechten (Ordinaten) das Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus von den Enden nach der Mitte erkennen. Verbindet man noch die Endpunkte der Ordinaten durch eine stetige krumme

Biots (siehe Erkl. 405) ergab sich, dass die Verteilung des freien Magnetismus von der Länge $2l$ des Magnetstabs unabhängig ist, so lange diese Länge das 50fache der Dicke des Stabes erreicht oder übersteigt. Diesen Satz auf die Experimente *Coulombs* angewandt, heisst: „Die durch die Figur 127 dargestellte Intensitätskurve behält für alle Stäbe, deren Längen gleich oder grösser als $50 . 5 = 250$ mm $= 25$ cm sind, fast dieselbe Gestalt und wird bei längeren Stäben nur der indifferente Teil pq derselben länger, während bei Stäben, die kürzer als 25 cm sind, die Gestalt jener Intensitätskurve sich ändert.

Erkl. 407. In betreff der Anordnung und Verteilung des Magnetismus sei im allgemeinen bemerkt, dass die hierüber vielfach aufgestellten Theorien, wie z. B. diejenigen von
Poisson, Mémoires de l'Acad. 1824,
Green, Ess. on the applic. of analys. to the theories of electr. and magnet. Nottingham 1828,
Thomson, Phil. Trans. 1851,
Neumann, Crelles Journal, Bd. 37. etc.
sich auf die Seite 52 angeführte Hypothese II und auf das in einem späteren Abschnitt entwickelte Gesetz stützen, dass die Intensität, mit welcher zwei Magnetpole sich gegenseitig anziehen und abstossen, dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional ist; dass ferner die diesen Theorien zu Grunde liegenden Versuche unter manchen Schwierigkeiten leiden, welche unter anderem von der Verschiedenheit der Koercitivkraft, von der Veränderlichkeit des magnetischen Zustandes, von der Unmöglichkeit ganz regelmässige und vollständig gesättigte Magnete herzustellen etc. herrühren, und dass schliesslich alle gemachten Untersuchungen sich nur auf die Untersuchung von langen und dünnen Magnetstäben, nicht aber auf Magnete von beliebiger Form beziehen.

Die Theorie über die Anordnung und Verteilung des Magnetismus, welche mittels der allgemeinen „Potentialtheorie" (siehe Erkl. 380) entwickelt wird (siehe Kleyers Lehrbuch der Potentialtheorie), führte bis jetzt nur zu dem allgemeinen Satz, dass, welches auch die Anordnung des freien Magnetismus in einem magnetischen Körper sei, an Stelle des inneren Magnetismus eine oberflächliche Schicht gesetzt werden kann, die nach Aussen dieselbe Wirkung ausübt wie jene.

Linie, wie die Figur 127 zeigt, so erhält man die sogenannte Intensitätskurve des Magnetstabs. Aus dem Verlauf der Kurve ersieht man, dass der freie Magnetismus von den Enden nach der Mitte sehr rasch abnimmt, und dass in der Mitte ein ziemlich grosser Raum entsteht, für welchen der freie Magnetismus fast 0 ist. (Siehe Erkl. 404—407.)

c). Ueber die Art der Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab.

(Coulombs Torsionswage, Drehungsmoment, Ablenkungsgesetz.)

Frage 155. Auf welche Weise kann man die Art der Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab ermitteln?

Antwort. Die Art der Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizon-

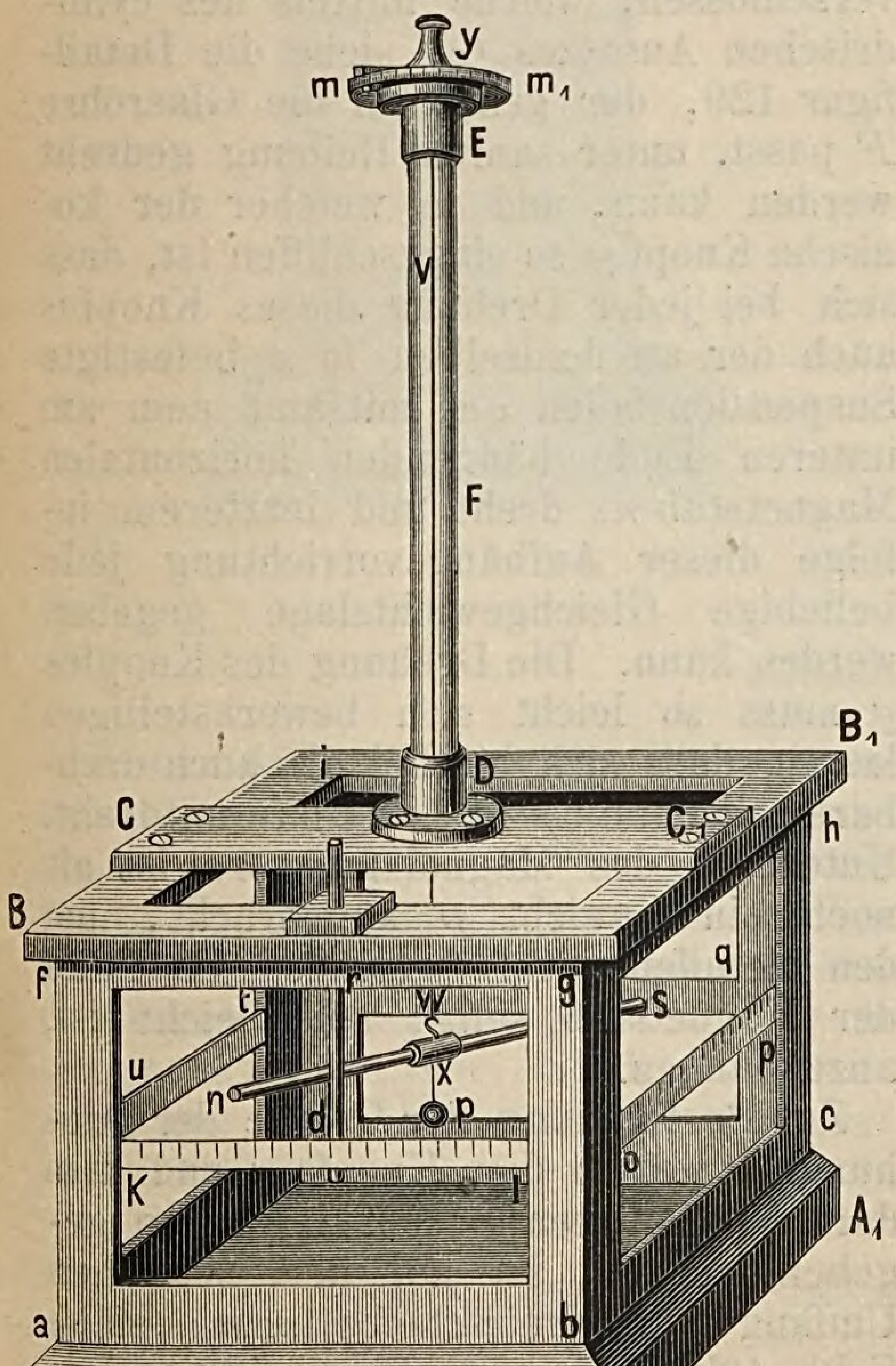
taler Ebene drehbaren Magnetstab kann man dadurch ermitteln, dass man das Gesetz sucht, nach welchem jener aus seinem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstab wieder in denselben zugeführt wird. Dieses Gesetz kann nach zwei verschiedenen Methoden aufgefunden werden, nämlich:

1). mittels der sogenannten Torsionsmethode, bezw. mittels der *Coulomb*schen Torsions- oder Drehwage; und

2). mittels der sogen. Schwingungsmethode.

Frage 156. Worin besteht die Einrichtung der *Coulomb*schen Torsions- oder Drehwage?

Figur 128.

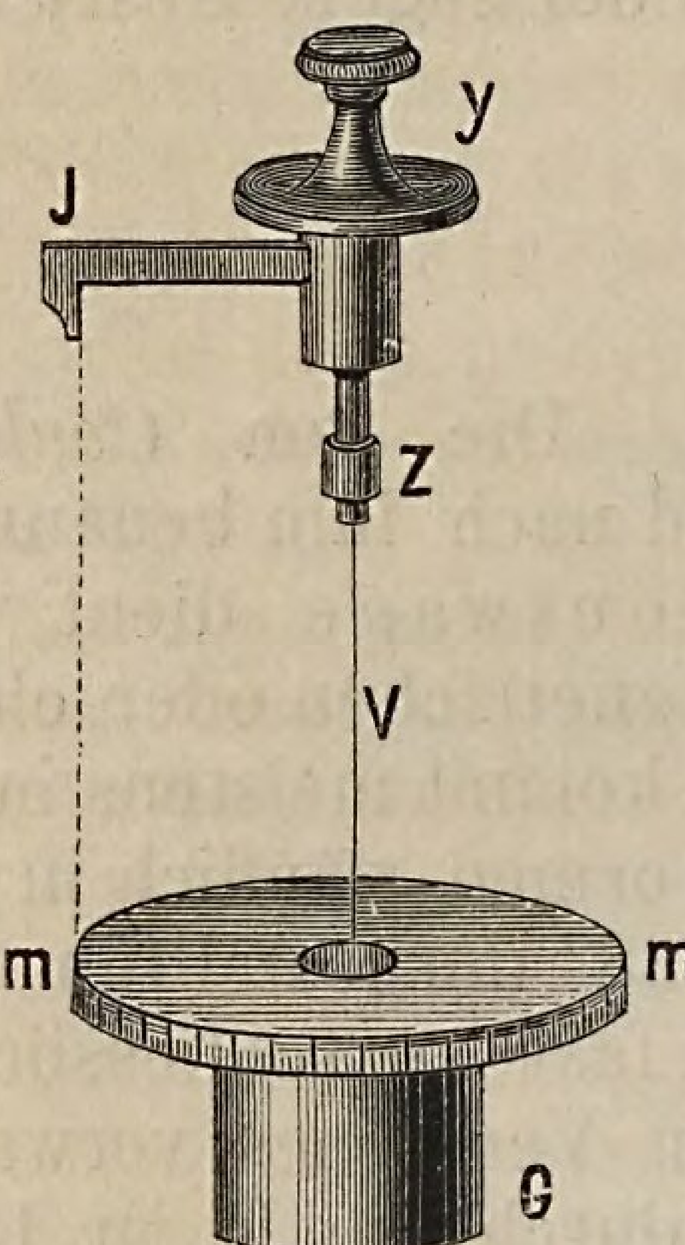


Antwort. Die von *Coulomb* konstruierte und nach ihm benannte Dreh- oder Torsionswage dient zur Messung von magnetischen oder elektrischen Kräften und kommt meistens in zwei verschiedenen Formen, nämlich in der durch die Figur 128 dargestellten Form, in welcher sie fast ausschliesslich nur zu magnetischen Versuchen verwandt wird, und in der durch die Figur 131 dargestellten Form, in welcher sie ebenfalls zu magnetischen Versuchen, meist aber, nach einigen kleinen Abänderungen, zu elektrischen Versuchen verwandt wird (siehe Kleyers Lehrbuch der Reibungselektrizität).

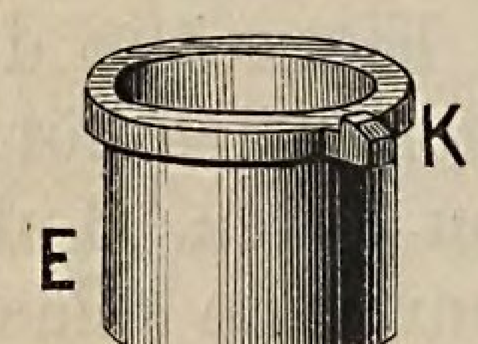
Die *Coulomb*sche Torsionswage, wie sie zu magnetischen Versuchen verwandt wird und durch die Figur 128 dargestellt ist, besteht aus einem würfelförmigen Kasten *abcdifgh* von circa 3 dm Höhe, in dessen 4 Seitenwände Glasscheiben eingezogen sind, auf welchen die mit einer Gradeinteilung versehenen Papierstreifen *kl*, *op*, *qr*, *tu* so befestigt sind, dass sie ungefähr den mittleren Querschnitt des Kastens decken. Anstatt Papierstreifen bedient man sich auch oft mit Gradeinteilung versehener Messingstreifen. Dieser Kasten ist oben durch eine Glasscheibe abgeschlossen, welche in dem den Steg CC_1 tragenden Rahmen BB_1 befestigt und in deren Mitte ein Loch angebracht ist, um den Suspensionsfaden *vw* des Magnetstabes *ns* durchzulassen. Auf dem Steg CC_1 ist eine ungefähr 5 dm

Erkl. 408. *Coulomb* veröffentlichte die Konstruktion seiner Torsions- oder Drehwage in seiner Schrift: *Coulomb*, Mémoires de l'Acad. des sciences. Paris 1785.

Figur 129.



Figur 130.



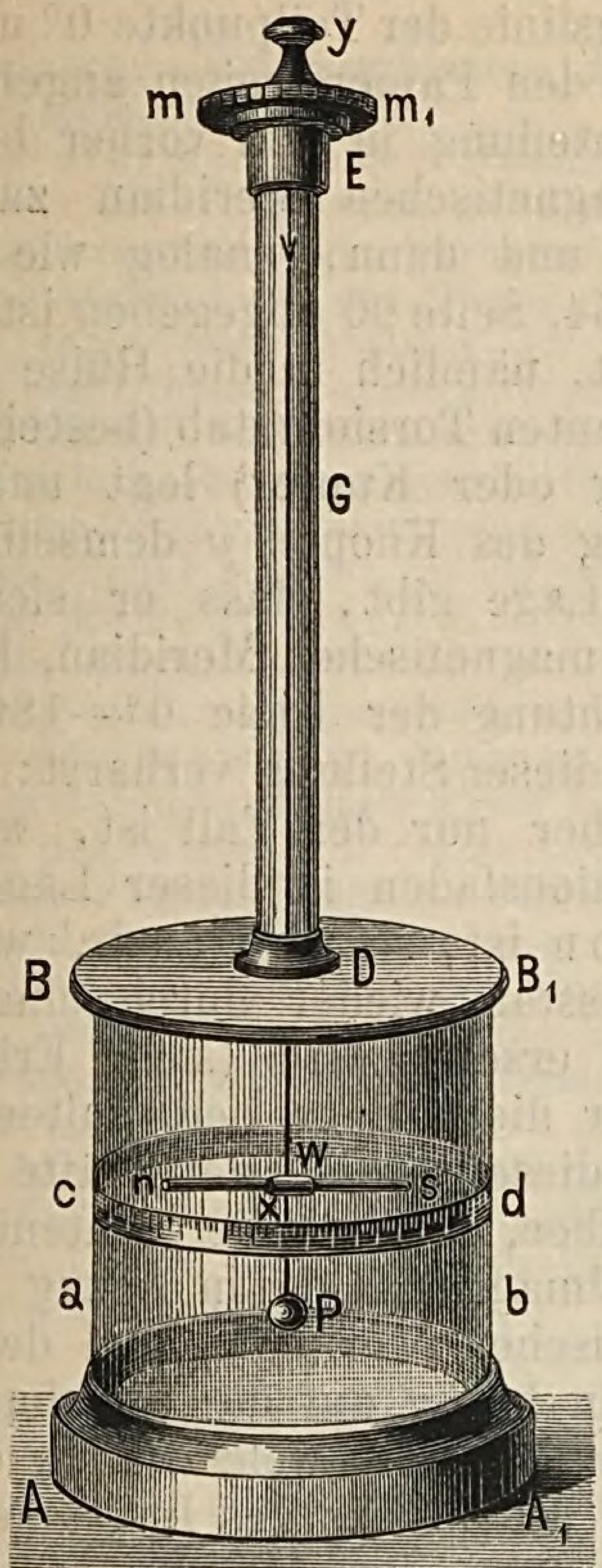
Erkl. 409. Da man mittels der auf der Kreisscheibe $m m_1$ angebrachten Gradteilung, siehe Figur 129, die geringste Drehung des Knopfes *y* und auch der Scheibe selbst beobachten und messen kann, führt dieselbe auch den Namen: „Das Mikrometer“.

Unter Mikrometer (vom griech.) versteht man nämlich jedes Instrument, mittels welchem man sehr kleine Dimensionen messen kann.

lange und 2 cm dicke Glasröhre *F* befestigt, welche in den messingenen Fassungen *D* und *E* ruht. Diese Glasröhre dient zur Aufnahme des Suspensionsfadens *vw*, an dessen unterem Ende *w* eine Hülse *x* angebracht ist, in welche der Magnetstab *ns* so gelegt werden kann, dass er sich nur in horizontaler Ebene drehen lässt, und muss so auf dem Steg CC_1 angebracht sein, dass der am oberen Ende derselben befestigte Suspensionsfaden, welches ein dünner Silber- oder Kupferdraht ist, genau durch die Mitte der auf den erwähnten Papierstreifen befindlichen Gradeinteilung geht, bezw. eine Verlängerung der vertikalen Axe des würfelförmigen Kastens bildet. Zur Aufhängung des Suspensionsfadens *vw* ist der obere Teil der Glasröhre *F* durch die messingene Kreisscheibe mm_1 verschlossen, welche mittels des cylindrischen Ansatzes *G*, siehe die Detailfigur 129, der genau in die Glasröhre *F* passt, unter sanfter Reibung gedreht werden kann, und in welcher der konische Knopf *y* so eingeschliffen ist, dass sich bei jeder Drehung dieses Knopfes auch der an demselben in *z* befestigte Suspensionsfaden *vw* mitsamt dem am unteren Ende hängenden horizontalen Magnetstab *ns* dreht und letzterem infolge dieser Aufhängevorrichtung jede beliebige Gleichgewichtslage gegeben werden kann. Die Drehung des Knopfes *y* muss so leicht sich bewerkstelligen lassen, dass sich hierbei die auch drehbare Scheibe mm_1 nicht mitdreht. Unterhalb des Magnetstabs *ns* ist oft noch ein Gewicht *p* angebracht, um den metallenen Aufhängefaden, im Falle der Magnetstab selbst sehr leicht ist, anzuspannen.

Zur Bestimmung der Grösse der Drehungen, welche dem Knopfe *y* und dem daran befestigten Suspensionsfaden gegeben werden, ist auf dem seitlichen Umfang der Kreisscheibe $m m_1$ (siehe Erkl. 409), wie die Figur 129 zeigt, eine Gradeinteilung und an dem Knopfe *y* selbst, der Zeiger *J* angebracht, wodurch man die Drehung des Knopfes *y* an der Gradeinteilung, auf welche der

Figur 131.



Zeiger J stets zeigt, messen kann. Schliesslich ist noch zur Bestimmung der Grösse der Drehungen, welche der Kreisscheibe mm_1 gegeben werden, an der oberen messingnen Fassung E der Glasröhre F, siehe die Detailfigur 130, der Zeiger K angebracht, mittels welchem man die Grösse der Drehungen, die der Scheibe mm_1 gegeben werden, an deren Gradteilung ablesen kann.

Was ferner die Form der *Coulomb*schen Torsionswage, wie sie bei magnetischen Versuchen und mit einigen Abänderungen aber grösstenteils bei elektrischen Versuchen angewandt und durch die Figur 131 dargestellt wird, anbetrifft, so ist deren Einrichtung fast dieselbe als die der soeben beschriebenen Form, nur ist bei der durch die Figur 131 dargestellten Form der vorhin beschriebene würfelförmige Kasten durch einen Glascylinder ab von circa 3 dm Durchmesser und 3 dm Höhe, welcher durch die in der Mitte durchbohrte Glasplatte BB_1 oben geschlossen ist, ersetzt. Gewöhnlich ist auch noch die Aufhängevorrichtung des Aufhängedrahtes mit einer horizontalen Schraube versehen, mittels welcher man, ähnlich wie in der Figur 103, Seite 89, den Draht verlängern oder verkürzen kann, was notwendig ist, damit der Magnetstab in die Höhe der unteren Gradteilung zu stehen kommt.

Frage 157. Auf welche Weise kann man mittels der „*Coulomb*schen Drehwage“ das Gesetz, nach welchem die richtende Kraft des Erdmagnetismus bestrebt ist, einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab stets wieder in seinen magnetischen Meridian zurückzuführen, auffinden, und wie heisst dieses Gesetz?

Erkl. 410. Diejenige elastische Kraft (siehe Erkl. 411), welche hervorgerufen wird, wenn ein an einem Ende festgeklemmter Stab oder Draht durch irgend eine am freien Ende desselben wirkende Kraft um seine Axe gedreht wird, und welche bestrebt ist, die infolgedessen verschobenen Teile wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückzuführen, nennt man die „Torsions- oder

Antwort. Die Auffindung des fraglichen Gesetzes mittels der Drehwage stützt sich, wie die Konstruktion der Drehwage selbst, auf das von *Coulomb* gefundene Torsionsgesetz, dass die Torsionskraft des metallenen Aufhängefadens proportional dem Drehungs- oder Torsionswinkel ist (siehe Erkl. 410) und wird folgendermassen bewerkstelligt:

Zunächst muss die Drehwage so aufgestellt werden, dass sich der Suspensionsfaden in seiner Gleichgewichtslage

Drehungselastizität“, auch „Torsionskraft“ des Stabes.

Um die Gesetze der Torsionselastizität an Drähten zu beobachten, werden dieselben aufgehängt und mittels Gewichten vertikal gespannt. Wenn ein solcher Draht durch Drehung aus seiner einmal angenommenen Gleichgewichtslage herausgebracht wird, so erleidet er in seiner ganzen Länge eine Drehung, Windung oder Torsion (lat.) und ist infolge der dadurch hervorgerufenen Torsionselastizität, bezw. infolge seiner Torsionskraft bestrebt, jene ursprüngliche Gleichgewichtslage wieder einzunehmen.

Coulomb war der erste, welcher die Gesetze der Torsionskraft untersuchte und folgende Torsionsgesetze aufstellte:

1). die Torsionskraft ist dem Drehungswinkel proportional, d. h. wird das untere Ende des Drahtes z. B. um 2α, 3α, 4α Grade aus der Gleichgewichtslage gedreht, so ist die dadurch hervorgerufene Torsionskraft bezw. 2, 3, 4 mal so gross, als wenn die Drehung nur α Grade betragen hätte;

2). die Torsionskraft ist von der Spannung des Drahtes unabhängig; und

3). die Torsionskraft ist der Länge des Drahtes umgekehrt proportional.

Auf das erste dieser hier angeführten Gesetze hat *Coulomb* die Konstruktion seiner Torsionswage gegründet.

(Ausführliches über die Torsionselastizität findet man in Kleyers Lehrbuch der Mechanik.)

Erkl. 411. Die Eigenschaft eines Körpers, vermöge welcher er seine frühere Form, die infolge auf ihn einwirkender Kräfte Veränderungen erlitten hat, wieder herzustellen sucht, sobald jene Kräfte aufhören zu wirken, bezeichnet man im allgemeinen mit Elastizität (vom neulat. elasticus, verteilen, in Bewegung setzen). Je nach der Art der Wirkung jener Kräfte unterscheidet man verschiedene Arten von Elastizität (siehe Erkl. 410).

Erkl. 412. Wird ein Torsionsstab durch einen Magnetstab ersetzt, so muss man hierbei acht geben, dass der Magnetstab so in die Hülse x geschoben wird, dass der Nordpol des Magnetstabs nach Norden und dementsprechend der Südpol nach Süden zu liegen kommt.

Erkl. 413. Ist die Drehwage so aufgestellt, dass der Aufhängedraht ohne Torsion ist, und dass die magnetische Axe des Magnetstabs in der Richtung von 0°—180° der unteren Gradteilung steht, so wird die Kreisscheibe, bezw. das Mikrometer $m m_1$ so lange gedreht, bis der am Knopfe y befindliche Zeiger J auf den Nullpunkt der Gradteilung der Scheibe $m m_1$ zeigt; dies hat den Zweck, um die später zu machenden Drehungen des Knopfes y direkt ablesen zu können.

Erkl. 414. In der Mechanik wird bei der Bestimmung von Gleichgewicht und Bewegung

befindet, d. h. dass er ohne jede Torsion ist. Dies zu untersuchen, stellt man die Drehwage so auf, dass die Verbindungslinie der Teilpunkte 0° und 180° der auf den Papierstreifen angebrachten Gradeinteilung in den vorher bestimmten magnetischen Meridian zu liegen kommt und dann, analog wie in der Erkl. 254, Seite 90 angegeben ist, weiter verfährt, nämlich in die Hülse x einen sogenannten Torsionsstab (bestehend aus Messing oder Kupfer) legt und durch Drehung des Knopfes y demselben eine solche Lage gibt, dass er sich genau in den magnetischen Meridian, bezw. in die Richtung der Linie 0°—180° stellt und in dieser Stellung verharrt; da letzteres aber nur der Fall ist, wenn der Suspensionsfaden in dieser Lage ohne Torsion ist, so wird auch, wenn der Torsionsstab wieder durch einen Magnetstab ersetzt wird (siehe Erkl. 412), letzterer diese Lage beibehalten, indem ihn in dieser Lage zwei Kräfte zu halten suchen, nämlich die richtende Kraft des Erdmagnetismus in bezug auf den magnetischen Meridian, und der Draht selbst in bezug auf die Gleichgewichtslage des Drahtes, welche nach der vorherigen Justierung des Instruments mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt (siehe Erkl. 413).

Wollte man nunmehr durch Drehung des Knopfes y dem Aufhängedraht, der durch das Gewicht des Magnetstabs ns, und wenn derselbe zu leicht ist, auch noch durch ein angehängtes Gewicht p gespannt wird, eine andre zweite Gleichgewichtslage geben, so würde dies möglich sein, wenn der Stab ns kein Magnetstab wäre, er also nicht infolge seiner Direktionskraft, bezw. infolge der richtenden Kraft des Erdmagnetismus bestrebt wäre, in den magnetischen Meridian zurückzukehren. Durch eine Drehung des Knopfes y nimmt also der Aufhängedraht keine Gleichgewichtslage an, sondern er wird tordiert, erleidet eine Torsion, und der Magnetstab selbst nimmt eine Zwischenlage zwischen der zweiten Gleichgewichtslage des Drahtes und dem magnetischen Meridian an, und es

die Grösse der Wirkung irgend einer Kraft im allgemeinen ausgedrückt durch das sogenannte „Moment“ (vom lat.), welches das Bewegende, Ausschlaggebende, Wesentliche, Entscheidende heisst.

Man unterscheidet verschiedene Arten sogenannter Momente, nämlich:

1). das statische oder Drehungsmoment einer Kraft in bezug auf einen festen Punkt als Drehungspunkt, worunter man das Produkt, bestehend aus der Grösse der Kraft und dem senkrechten Abstand der Richtung derselben vom Drehungspunkt zu verstehen hat;

2). das Moment der Bewegung, worunter man das Produkt, bestehend aus der Grösse der Kraft und der Geschwindigkeit, mit welcher eine Kraft einen Punkt angreift, zu verstehen hat;

3). das Moment eines Kräftepaares (d. h. eines solchen Paares von gleichgrossen Kräften, die nach entgegengesetzten aber parallelen Richtungen wirken), worunter man das Produkt, bestehend aus einem dieser Kräfte und der Breite des Paares, d. i. die Entfernung der Angriffspunkte beider Kräfte zu verstehen hat;

4). das Moment der Trägheit, worunter man das Produkt, bestehend aus einer Masse und dem Quadrat der Entfernung vom Umdrehungs- oderBewegungspunkt zu verstehen hat;

5). das magnetische Moment (siehe den späteren Abschnitt, welcher hierüber handelt).

Ausführliches über die verschiedenen Momente von 1). bis 4). findet man in Kleyers Lehrbuch der Mechanik.

Erkl. 415. Wirken zwei Kräfte P und Q, siehe Figur 132, an einer um einen festen Punkt c drehbaren Linie ab, so verhalten sich diese Kräfte, wenn sie sich das Gleichgewicht halten sollen, also die Linie ab in ihrer Lage verharrt, nach einem Lehrsatz aus der Mechanik, umgekehrt wie ihre senkrechten Entfernungen dc und fc von dem Drehungspunkte c, in Zeichen:

a). $P:Q = fc.dc$

und hieraus erhält man:

b). $P.dc = Q.fc$

Das Produkt, bestehend aus einer dieser Kräfte und ihrem senkrechten Abstand vom Drehungspunkte nennt man das Moment der Kraft in bezug auf diesen Punkt oder auch das Kraft- oder statische Moment (siehe Erkl. 414).

Erkl. 416. Findet zwischen den Kraftmomenten $P.dc$ und $Q.fc$, siehe Figur 132, welche die Linie ab um den Punkt c zu drehen streben, keine Gleichheit statt, ist also eines derselben, z. B. $P.dc$ grösser als das andre $Q.fc$, so wird die Linie ab um den Punkt c in der Richtung derjenigen Kraft, welche das grössere Moment hat, gedreht, und zwar mit der Kraft, deren Moment

a). $= P.dc - Q.fc$ ist.

bleibt zunächst zu untersuchen, welche Beziehung zwischen der Torsionskraft des Drahtes, der Grösse der Ablenkung aus seiner ersten Gleichgewichtslage und der magnetischen Direktionskraft, welche den Stab in den magnetischen Meridian zurückzuführen sucht, besteht.

Wird der Knopf y um den Winkel δ gedreht, was man mittels des an demselben angebrachten Zeigers J erkennt, und nimmt infolgedessen der Magnetstab ns, wie vorhin erwähnt, eine solche Zwischenlage an, dass seine magnetische Axe mit dem magnetischen Meridian einen Winkel α bildet, welchen man an der unteren Gradteilung ablesen kann, so ist der Torsionswinkel des Drahtes, d. i. der Winkel, um welchen der Aufhängedraht von der durch den Winkel δ bestimmten zweiten Gleichgewichtslage infolge der richtenden Kraft des Erdmagnetismus abgelenkt wird $= \delta - \alpha$, und es muss zwischen dem Torsionsmoment: $T.(\delta - \alpha)$, siehe Erkl. 419, und zwischen dem allgemein durch M bezeichneten Drehungsmoment der erdmagnetischen Kraft (siehe Erkl. 417) bei der von dem Magnetstab ns angenommenen zweiten Gleichgewichtslage (d. i. jene Zwischenlage) die Relation bestehen:

1). $M = T.(\delta - \alpha)$

Gibt man durch weitere Drehung des Knopfes y dem Aufhängedraht eine andre Torsion, so erhält man, wenn der Winkel, um welchen der Knopf y gedreht wird mit δ_1, der Winkel, um welchen der Magnetstab abgelenkt wird mit α_1, also den Torsionswinkel analog wie vorhin mit: $(\delta_1 - \alpha_1)$, und das Torsionsmoment des Drahtes mit: $F.(\delta_1 - \alpha_1)$ bezeichnet, zwischen letzterem und dem nunmehrigen Drehungsmoment M_1 der erdmagnetischen Kraft die analoge Relation:

2). $M_1 = T.(\delta_1 - \alpha_1)$

Durch Division der Gleichungen 1). und 2). erhält man die weitere

Formel 5 . . $M_1 : M_2 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha_1)$

d. h. in Worten: „die Drehungsmomente der richtenden Kraft des

und dieses Moment nennt man das **Drehungsmoment der Linie** ab (siehe Erkl. 414).

Hört eine dieser Kräfte, z. B. Q auf zu wirken (siehe Figur 133), so ist das Drehungsmoment der Linie gleich dem Produkt, bestehend aus der Kraft P und dem senkrechten Abstand derselben vom Drehungspunkt c, nämlich

$$= P \cdot cd \quad \text{(siehe Erkl. 417).}$$

Erkl. 417. Wird ein um eine feste Axe c drehbarer mathematischer Stab (oder eine Magnetnadel, deren Masse unberücksichtigt bleiben kann) ab, siehe Figur 133, aus der Lage ab in die Lage von $a_1 b_1$ gebracht, so kann man sich diese Drehung, ohne Rücksicht auf die Art und Anzahl der Kräfte, welche diese Drehung verursacht haben, welche man sich also auch durch die magnetische Anziehungskraft der Erde verursacht denken kann, im allgemeinen dadurch entstanden denken, als ob in irgend einem Punkte des Stabes ab, z. B. in dem Punkte a eine Kraft P stets parallel der Richtung $a_1 b_1$ wirkend jenem Stabe die entsprechende Drehung gegeben hätte Die Grösse der Wirkung der gedachten Kraft P wird nach der Erkl. 416 ausgedrückt durch das Produkt, bestehend aus der gedachten Kraft P und dem senkrechten Abstand cd des Drehungspunktes von der Richtung aP dieser Kraft, also durch das Produkt $P \cdot cd$, welches man das **Drehungsmoment** der Kraft P in bezug auf den um die feste Axe c drehbaren Stab ab heisst.

Erkl. 418. Nach der Erkl. 416, bezw. nach der Erkl. 417 bezeichnet:

a). $P . cd$

das Drehungsmoment der Kraft P, siehe Figur 133. Wird infolge dieses Drehungsmoments der Stab aus der Lage ab, um den Winkel $aca_1 = \alpha$ in die Lage von $a_1 b_1$ gedreht, so hat man für den senkrechten Abstand cd in dem bei d rechtwinkligen Dreieck adc die Relation:

$$\cos \measuredangle acd = \frac{cd}{ac}$$

oder, da $\cos \measuredangle acd = \sin \measuredangle aca_1$, also $= \sin \alpha$ ist (siehe Erkl. 418a), so erhält man hieraus:

$$cd = ac \cdot \sin \alpha$$

oder wenn die Länge des Hebelarms ac = der Längeneinheit gesetzt wird:

b). $cd = \sin \alpha$

Das unter a). verzeichnete Drehungsmoment geht somit über in:

$$P \cdot \sin \alpha$$

Ist die Kraft P gleich der Direktionskraft D eines um eine feste Axe in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs, bezw. gleich der auf einen solchen Magnetstab wirkenden erdmagnetischen Kraft, so hat man hiernach für das Drehungsmoment eines um den Erdmagnetismus in bezug auf den an dem tordierten Draht hängenden Magnetstab sind proportional den Torsionswinkeln."

Dieser Satz lässt sich noch in bezug auf die Ablenkungswinkel α und α_1 des Magnetstabs von dem magnetischen Meridian wie folgt umformen:

Aus einer Vergleichung der Torsionswinkel $\delta - \alpha$ und $\delta_1 - \alpha_1$ mit dem Ablenkungswinkel α und α_1 ergibt sich, dass das Verhältnis $(\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha_1)$ der Torsionswinkel annähernd gleich dem Verhältnis $\alpha : \alpha_1$ der Ablenkungswinkel gesetzt werden kann, und da ferner diese Ablenkungswinkel bei den angestellten Experimenten sehr kleine Winkel waren und man deshalb nach der Erkl. 420 überdies:

$$\alpha : \alpha_1 = \sin \alpha : \sin \alpha_1$$

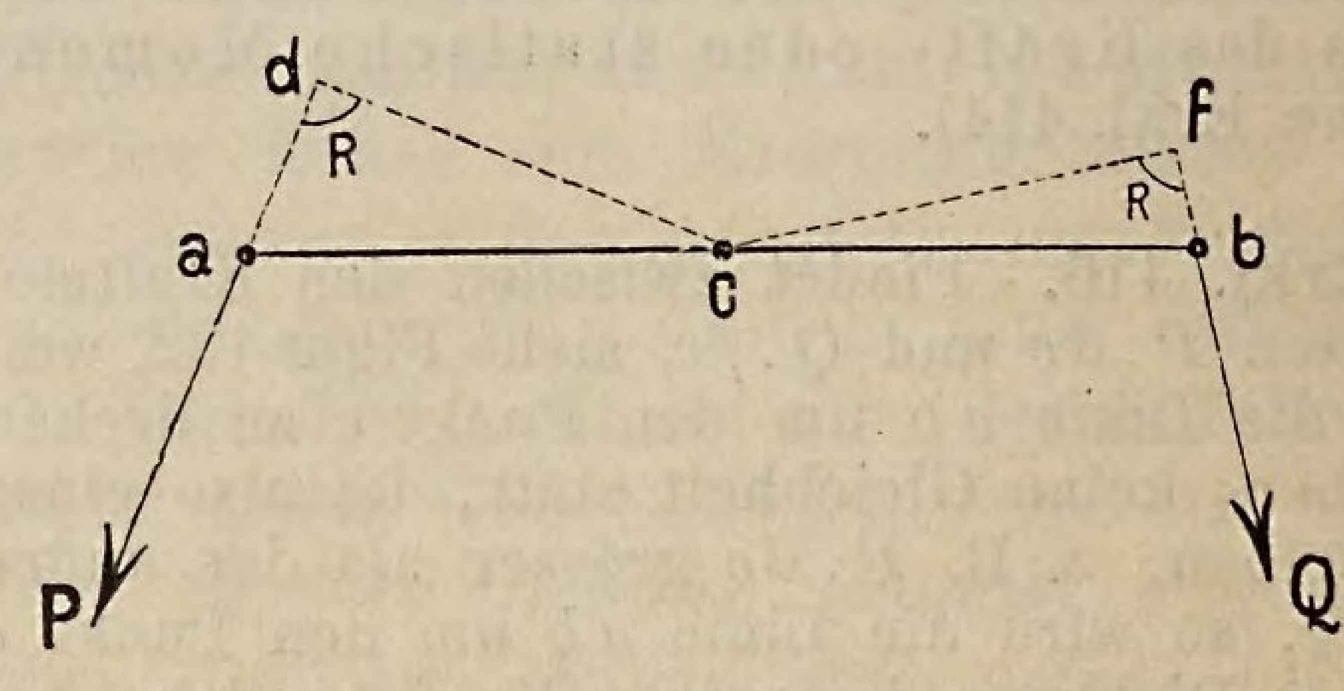
setzen kann, so erhält in Rücksicht dessen aus der vorstehenden Formel 5 die hiernach abgeleitete

Formel 6 . . $M : M_1 = \sin \alpha : \sin \alpha_1$

d. h. in Worten: **die den abgelenkten Magnetstab zurückführenden Drehungsmomente der erdmagnetischen Kraft sind proportional dem Sinus der Ablenkungswinkel, sobald letztere sehr klein sind.**

Das durch die Formel 5, bezw. durch die Formel 6 ausgedrückte Gesetz sei kurzer Hand das **magnetische Ablenkungsgesetz** genannt.

Figur 132.



Winkel α von seiner ursprünglichen Lage abgelenkten Magnetstabs, dessen halbe Länge = 1 ist:

a). $D . sin \alpha$.

Erkl. 419. Die Torsionskraft eines tordierten Drahts ist abhängig von dem Material, aus welchem er besteht, muss somit durch das Experiment bestimmt werden, was jedoch nach dem in der Erkl. 410 angeführten Torsionsgesetz: „die Torsionskraft eines tordierten Drahts ist proportional dem Torsionswinkel“ nur für einen bestimmten Torsionswinkel, nämlich für die Winkeleinheit zu geschehen braucht, indem sich alsdann nach diesem Gesetz die Torsionskraft bei jedem andern Torsionswinkel berechnen lässt.

Die durch das Experiment zu bestimmende Torsionskraft eines Drahts, der um die Winkeleinheit von 1° tordiert ist, nennt man den Torsionskoeffizent des betr. Drahts (derselbe ist für jeden Draht ein andrer) und wird allgemein durch T bezeichnet.

Für die Torsionskraft des um den Winkel $(\delta - \alpha)$ tordierten Drahts hat man somit:

$$T . (\delta - \alpha)$$

welches Produkt kurz den Namen „Torsionsmoment“ des Drahts führen soll.

Erkl. 420. Bezeichnet man den Radius eines Kreises mit „1“, so kann man für einen kleinen Zentriewinkel, z. B. von 1′, 2′ etc. desselben, bezw. für den in die Längeneinheit des Radius ausgedrückten Bogen eines solchen Winkels, also z. B. für *arcus* 1′, *arcus* 2′ ohne einen merklichen Fehler zu begehen, den Sinus eines solchen Winkels setzen. Hiernach ist z. B.:

$$arc\,1' = sin\,1';\quad arc\,2' = sin\,2'$$

oder allgemein:

$$arc\,\alpha = sin\,\alpha$$

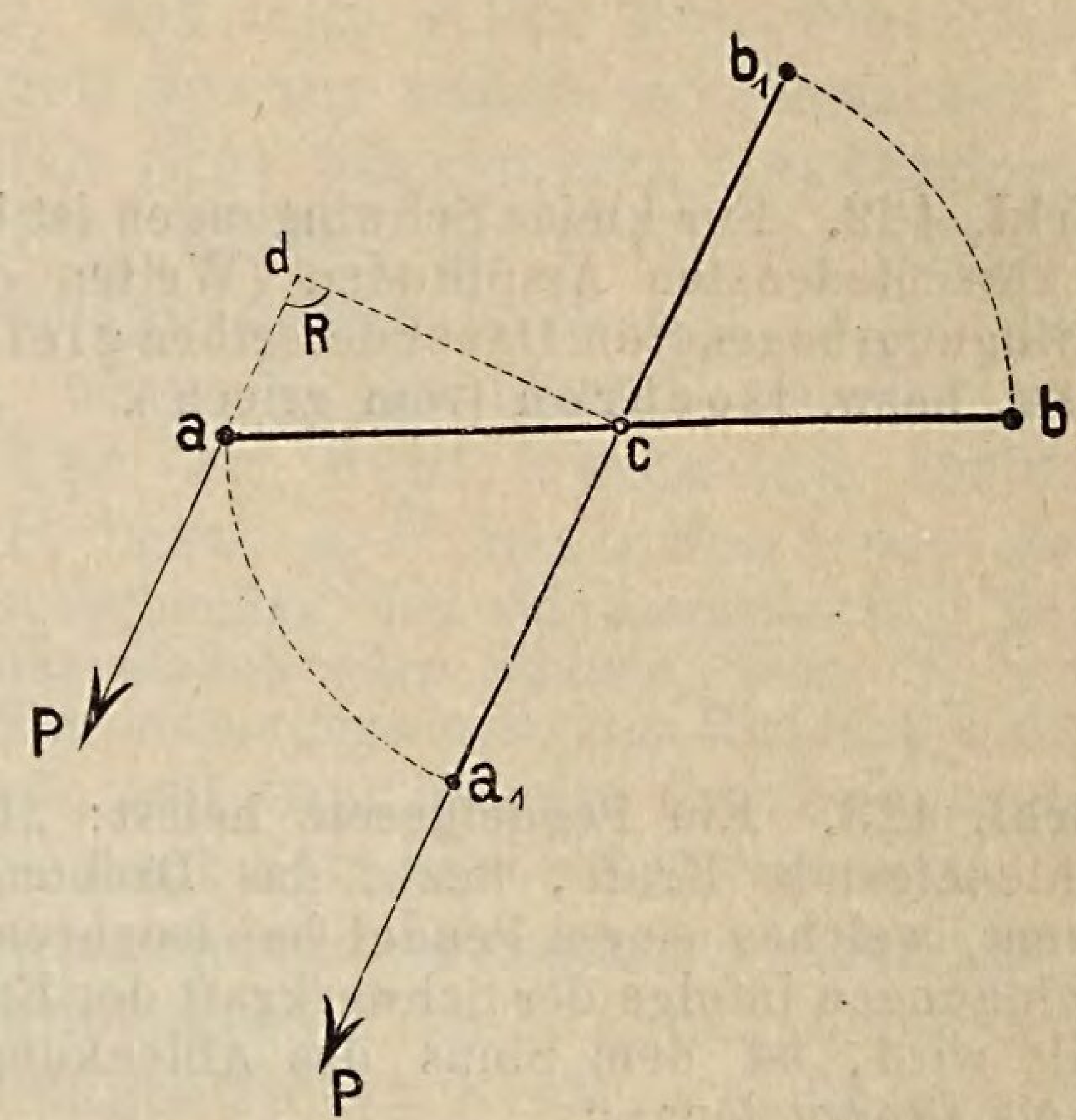
wofür man auch oft schreibt:

$$\alpha = sin\,\alpha$$

wobei man sich jedoch unter α den in Längeeinheiten des Radius ausgedrückten Bogen, der zu dem als klein anzunehmenden Zentriewinkel α gehört, zu denken hat. (Siehe Kleyers Lehrbuch der Goniometrie.)

Erkl. 421. Das nebenstehend entwickelte Ablenkungsgesetz wurde zuerst von *Lambert* abgeleitet und erst später von *Coulomb* wie nebenstehend angegeben bewiesen.

Figur 133.



Erkl. 418ª. In der Figur 133 ist:

$$\measuredangle acd + \measuredangle aca_1 = 90^0$$

mithin ist jeder dieser Winkel der Komplementwinkel des andern, und man kann nach dem goniometrischen Satze (siehe Kleyers Lehrbuch der Goniometrie):

„Der Sinus eines Winkels ist gleich dem Kosinus seines Komplementwinkels“

$$arc \measuredangle acd = sin \measuredangle aca_1 \text{ setzen.}$$

Frage 158. Auf welche Weise kann man mittels der sogen. „Methode der Oscillationen“ das nach voriger Antwort mittels der Drehwage aufgefundene Gesetz nachweisen?

Antwort. Das in voriger Antwort aufgestellte Gesetz, dass die Drehungsmomente, welche die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf einen verschieden

abgelenkten Magnetstab ausübt, dem Sinus der Ablenkungswinkel proportional sind, vorausgesetzt, dass letztere eine gewisse Grenze (siehe Erkl. 420) nicht überschreiten, lässt sich durch die Schwingungen (Oscillationen) des Magnetstabs auch folgendermassen nachweisen:

Hängt man den Magnetstab in der Torsionswage nicht an einen Metalldraht, sondern an einen einfachen Seidenfaden (Coconfaden), damit die Torsionskraft des Aufhängefadens nicht in Betracht zu kommen braucht, und versetzt den Magnetstab in kleine Schwingungen (was man durch Annähern und wieder Entfernen eines andern Magnets am besten bewerkstelligt), so findet man, wie schon in Antwort der Frage 130, bezw. in der Erkl. 335, Seite 122 erwähnt ist, dass diese infolge der Einwirkung des Erdmagnetismus stattfindenden Schwingungen denselben Gesetzen folgen, als die eines Pendels (siehe Erkl. 424).

Da nun bei kleinen, bei sogenannten isochronen Schwingungen (siehe Erkl. 422) auch das in der Erkl. 423 angegebene Pendelgesetz seine Gültigkeit hat, und weil die Schwingungen, welche jener Magnetstab macht, nur eine Folge der richtenden Kraft des Erdmagnetismus sind, so ergibt sich auch hieraus, dass die Drehungsmomente, welche die richtende Kraft des Erdmagnetismus einem verschieden abgelenkten Magnetstab erteilt, dem Sinus der Ablenkungswinkel proportional sind, vorausgesetzt, dass diese Ablenkungen keine grossen sind, wie auch in voriger Antwort für α und α_1 angenommen wurde.

Erkl. 422. Für kleine Schwingungen ist bei den verschiedensten Amplituden (Weiten des Schwingungsbogens) die Dauer derselben gleich gross, bezw. isochron (vom griech.).

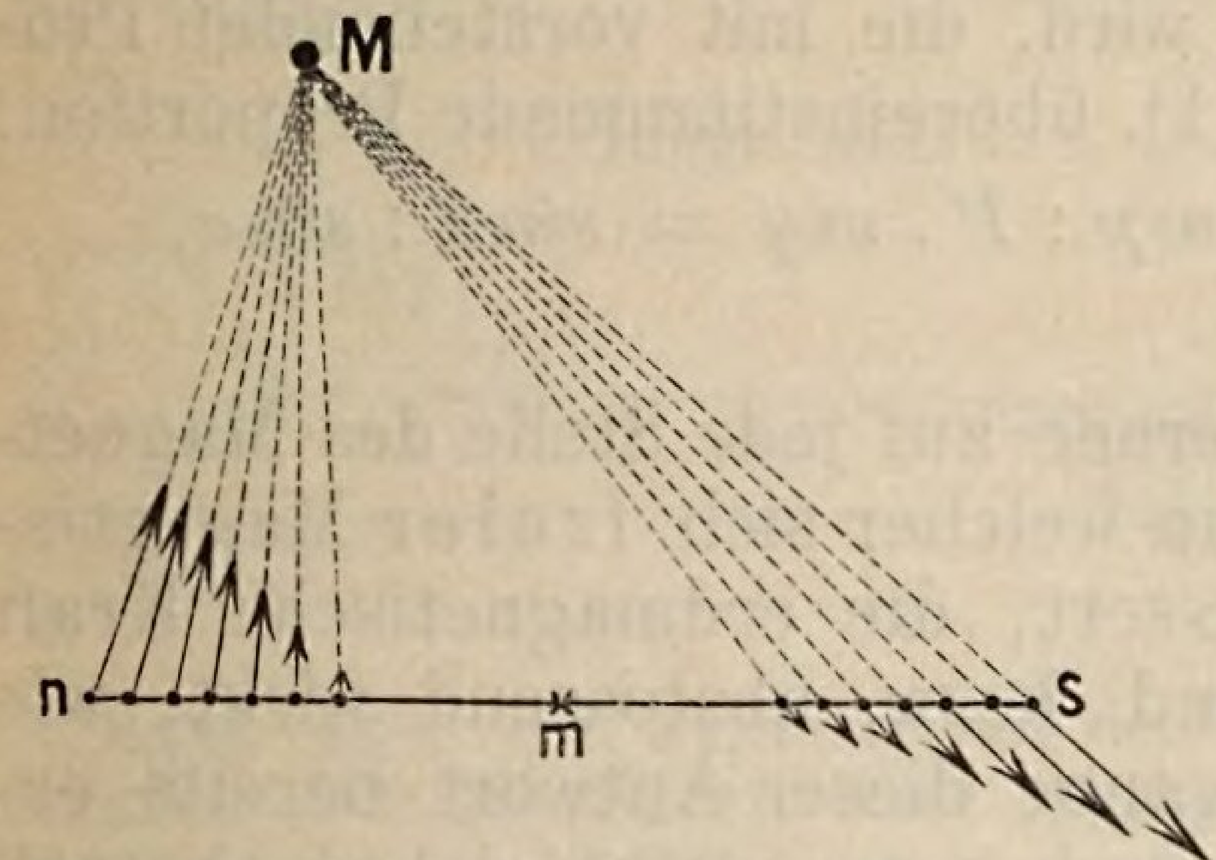
Erkl. 423. Ein Pendelgesetz heisst: „Die beschleunigende Kraft, bezw. das Drehungsmoment, welches einem Pendel bei isochronen Schwingungen infolge der Schwerkraft der Erde erteilt wird, ist dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional.“

Erkl. 424. Ausführliches über die Beobachtung der Schwingungen eines Magnetstabs findet man in einem späteren Abschnitt.

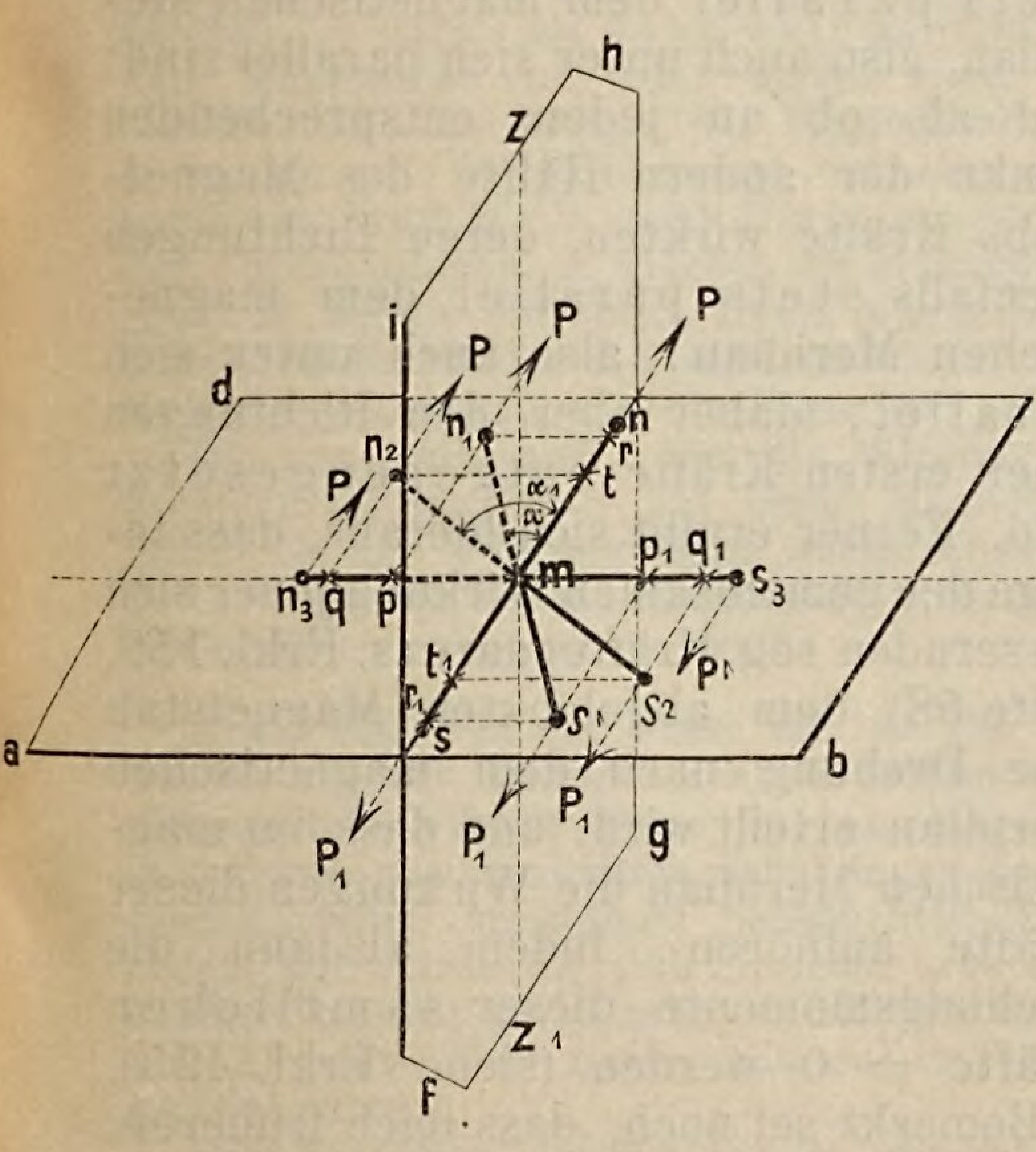
Frage 159. Zu welchem Resultat gelangt man in bezug auf die Art der Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab mittels dem in den Antworten der Fragen 157 und 158 aufgestellten Ablenkungsgesetz?

Antwort. Nach dem in der Antwort der Frage 154 für einen Magnetstab aufgestellten Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus nach der Mitte, muss auch die Kraft, mit welcher jedes einzelne Molekülchen des Magnetstabs von einem andern Magnet oder von dem Magnetismus der Erde (derselbe als konstant vorausgesetzt) angezogen, bezw. abgestossen wird, nach der Mitte des Magnet-

Figur 134.



Figur 135.



stabs hin abnehmen, wie dies z. B. in der Figur 134 durch die Pfeilchen in bezug auf das magnetische Partikelchen M angedeutet ist.

Nimmt man nun an, siehe Figur 135, $n_1 s_1$ und $n_2 s_2$ seien zwei verschiedene Lagen des aus seinem magnetischen Meridian $fghi$ abgelenkten Magnetstabs ns und es wirkte die richtende Kraft des Erdmagnetismus z. B. nur an der Stelle n_1, bezw. n_2 in irgend welcher noch näher zu bestimmenden Richtung $n_1 P$, bezw. $n_2 P$ anziehend (also an der entsprechenden, den entgegengesetzten Magnetismus enthaltenden Stelle s_1, bezw. s_2 in derselben nur entgegengesetzten Richtung abstossend), und zwar mit der Kraft P; alsdann muss nach dem in den Antworten der zwei vorhergehenden Fragen entwickelten Ablenkungsgesetz das Drehungsmoment der erdmagnetischen Kraft, welche in n_1 angreifend gedacht werden kann und z. B. in der Richtung $n_1 P$ wirkt,

d. i. nach der Erkl. 417 das Produkt, bestehend aus der Grösse P dieser Kraft und dem senkrechten Abstand mp der Richtung $n_1 P$ derselben vom Drehungspunkt m,

und das Drehungsmoment derselben erdmagnetischen Kraft, welche an derselben Stelle des in der Lage $n_2 s_2$ abgelenkten Magnetstabs angreift und z. B. in der Richtung $n_2 P$ wirkt,

d. i. nach der Erkl. 417 das Produkt, bestehend aus der Grösse P dieser Kraft und dem senkrechten Abstand mq der Richtung $n_2 P$ derselben vom Drehungspunkt m,

mit den Sinus der Ablenkungswinkel α und α_1 in direktem Verhältnis stehen, es muss also hiernach die Proportion stattfinden:

$$1). \ . \ . \ P \, . \, mp : P \, . \, mq = \sin\alpha : \sin\alpha_1$$

Diese Proportion findet aber nur dann in Wirklichkeit statt, wenn die Richtungen Pn_1 und Pn_2 der wirkenden Kraft P, parallel dem magnetischen Meridian $fghi$ sind, denn nur in diesem Falle findet vorstehende Proportion statt. Fällt man zum Beweis der Richtigkeit dessen von n_1 den Perpendikel $n_1 r$, bezw. von n_2 den Perpendikel $n_2 t$ auf ns, so ist:

$$a). \ . \ . \ \sin\alpha = \frac{n_1 r}{mn_1} \text{ oder } = \frac{mp}{mn_1} \text{ und}$$

$$b). \ . \ . \ \sin\alpha_1 = \frac{n_2 t}{mn_2} \text{ oder } = \frac{mq}{mn_2}$$

Erkl. 425. Da die Wirkung der Kraft P, siehe Figur 135, in bezug auf den Punkt n_1 gemessen wird durch das Drehungsmoment $P \,.\, mp$, bezw. durch $P \,.\, rn_1$ (siehe Erkl. 417), so wird diese Wirkung = Null, wenn der senkrechte Abstand rn_1 = Null wird. In diesem Falle befindet sich der Magnetstab $n_1 s_1$ im magnetischen Meridian und nimmt die Gleichgewichtslage ns an.

Erkl. 426. Setzt man bei den in den Antworten der Fragen 157—159 entwickelten Theorien voraus, dass die bestimmte Lage, welche ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab einnimmt, nicht auf dem Einfluss des Erdmagnetismus, sondern auf dem Einfluss andrer unbekannter und noch näher zu bestimmenden Kräfte beruht, so kann man umgekehrt diese Theorien auch zum Nachweis benutzen, dass die Erde magnetische Kraft besitzt (vergeliche hiermit den Abschnitt 1)., Seite 54).

Erkl. 427. Da nach der in nebenstehender Antwort gegebenen Entwickelung die magnetische Kraft der Erde auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab stets in der zum magnetischen Meridian parallelen Richtung wirkt, so ergibt sich hieraus, dass wenn in der Figur 133 $a_1 b_1$ den magnetischen Meridian, ab einen um den Winkel $aca_1 = \alpha$ aus demselben abgelenkten Magnetstab vorstellt, das Drehungsmoment:

$$D \,.\, \sin\alpha$$

(siehe Gleich. c). in der Erkl. 418)

welches für den Fall, dass der Magnetstab ab bis in die zum magnetischen Meridian $a_1 b_1$ senkrechte Lage cd abgelenkt wird, übergeht in:

$$D \,.\, \sin\alpha = D \,.\, \sin 90^0 \text{ oder } = D,$$

$$\text{da } \sin 90^0 = 1 \text{ ist,}$$

d. h. unter der (in der Erkl. 418 erwähnten) Direktionskraft D versteht man das Drehungsmoment, welches die erdmagnetische Kraft auf einen um 90^0 von seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt, dessen halbe Länge gleich der Längeneinheit ist. Hierbei ist allerdings noch keine Rücksicht genommen auf den Magnetismus des gedachten Magnetstabs ab selbst.

woraus sich durch Division und mit Berücksichtigung, dass $mn_1 = mn_2$ ist, die Relation:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_1} = \frac{mp}{mq}$$

oder wenn der Divisor und der Dividend des Quotienten rechts mit der Grösse P multipliziert wird, die mit vorstehender Proportion 1). übereinstimmende Proportion:

$$P \,.\, mp : P \,.\, mq = \sin\alpha : \sin\alpha_1$$

ergibt.

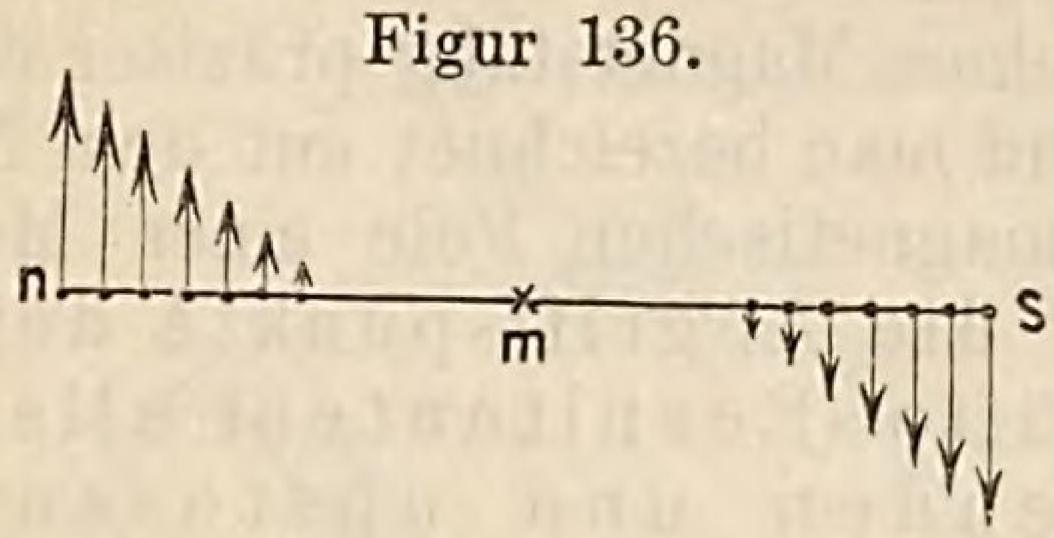
Da ferner auf jede Stelle des Magnetstabs, an welcher sich freier Magnetismus äussert, die erdmagnetische Kraft anziehend, bezw. abstossend wirkt, wie am Eingange dieser Antwort bereits erwähnt wurde, so ergibt sich in betreff der Art der Wirkung des Erdmagnetismus auf jenen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab, dass derselbe von der Art ist, als ob an jedem Punkte der einen Hälfte des Magnetstabs, in welcher sich freier Magnetismus offenbart, Kräfte wirkten, deren Richtungen stets parallel dem magnetischen Meridian, also auch unter sich parallel sind; und als ob an jedem entsprechenden Punkt der andern Hälfte des Magnetstabs Kräfte wirkten, deren Richtungen ebenfalls stets parallel dem magnetischen Meridian, also auch unter sich parallel, dabei aber den Richtungen jener ersten Kräfte entgegengesetzt sind. Ferner ergibt sich hieraus, dass infolge der gemeinsamen Wirkung jener sich äussernden sog. Kräftepaare (s. Erkl. 158, Seite 58) dem abgelenkten Magnetstab eine Drehung nach dem magnetischen Meridian erteilt wird, und dass im magnetischen Meridian die Wirkungen dieser Kräfte aufhören, indem alsdann die Drehungsmomente dieser sämtlichen Kräfte = 0 werden (siehe Erkl. 425).

Bemerkt sei noch, dass nach früherem die an der Nordhälfte des Magnetstabs wirkenden Kräfte parallel dem magnetischen Meridian in der Richtung nach Norden, und die an der Südhälfte wirkenden Kräfte in analoger Weise in der Richtung nach Süden wirken. (Siehe auch die Antwort der Frage 80, Seite 57.)

d). Ueber die Bestimmung der Lage der magnetischen Pole und der magnetischen Axe eines Magnetstabs.

Frage 160. Wie lassen sich nunmehr die sogenannten magnetischen Pole eines Magnetstabs präziser definieren, und wie kann man die Lage derselben auf graphische Weise bestimmen?

Figur 136.



Erkl. 428. Ein Lehrsatz aus der Mechanik heisst: „Die Mittelkraft oder sogenannte Resultante zweier oder mehrerer in einer Ebene parallel wirkenden Kräfte ist ihrer Intensität nach gleich der Summe der Intensitäten jener parallelen Kräfte, wirkt dabei in einer Richtung, die parallel den Richtungen jener Kräfte ist und greift in dem sogenannten Mittelpunkt der Angriffspunkte jener parallelen Kräfte an" (siehe Kleyers Lehrb. der Mechanik).

Erkl. 429. Nimmt man, siehe Figur 134, die magnetische Kraft M, welche auf den Magnetstab ns wirkt, als sehr weit entfernt von dem Magnetstab an, oder nimmt man, was dasselbe ist, die Länge des Magnetstabs ns in bezug auf die Entfernung von der magnetischen Kraft M als sehr klein an, so werden die Richtungen, in welchen die magnetische Kraft M auf die einzelnen, freien Magnetismus offenbarenden Stellen des Magnetstabs ns wirkt, nahezu parallel, wie die Figur 136 zeigt.

Hieraus ergibt sich, dass die Wirkung der erdmagnetischen Kraft auf einen Magnetstab gleich ist der Wirkung einer entsprechenden, sehr weit von diesem Magnetstab entfernt zu denkenden magnetischen Kraft.

Erkl. 430. In der Figur 127 ist das Verhältnis des sich an den einzelnen Stellen eines Magnetstabs offenbarenden freien Magnetismus durch das Verhältnis der Längen der an diesen Stellen errichteten Senkrechten (Ordinaten) und durch die sich hiernach ergebende Intensitätskurve dargestellt, somit das Gesetz der Abnahme des freien Magnetismus graphisch fixiert.

Bestimmt man, siehe Figur 137, die Schwerpunkte S und S_1 der durch den Magnetstab und die Intensitätskurve begrenzten Flächenstücke, so kann man sich z. B. an der Stelle des Fusspunktes F der Senkrechten SF eine Kraft wirkend denken, deren Intensität im Verhältnis zu den Intensitäten der an den einzelnen Stellen wirkenden parallelen Kräfte durch die Grösse der Senkrechten SF dargestellt

Antwort. Nach der Antwort der Frage 13, Seite 6, wurden die Stellen eines Magnets, an welchen sich die Anziehungskraft am stärksten offenbart, im allgemeinen als die sogenannten magnetischen Pole des betreffenden Magnets bezeichnet. Wie das durch die Figur 7, Seite 5, vorgeführte Experiment zeigt, ist es bei dieser Definition der magnetischen Pole sehr zweifelhaft, wo diese Stellen sind, und man kann im allgemeinen nur sagen, dass sie sich an den Enden befinden.

Auch hier gelangt man zu einer präziseren Definition, wenn der Einfluss der richtenden Kraft des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab in betracht gezogen wird.

Nach der vorigen Antwort offenbart sich die Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren und von seiner Gleichgewichtslage abgelenkten Magnetstab so, als ob in allen denjenigen Punkten der einen Hälfte des Magnetstabs, in welcher sich freier Magnetismus zeigt, Kräfte wirkten, welche an Stärke proportional sind dem sich in den einzelnen Punkten äussernden und nach der Mitte zu stetig abnehmenden freien Magnetismus, und deren Richtungen sämtlich parallel dem magnetischen Meridian sind; und als ob ferner an allen denjenigen Punkten der andern Hälfte des Magnetstabs, an welchen sich freier Magnetismus zeigt, mit jenen parallel wirkenden Kräften korrespondierende, aber parallel entgegengesetzte Kräfte wirkten, so wie z. B. die Figur 136 zeigt.

Für je ein solches System parallel wirkender Kräfte kann man nun eine einzige Kraft gesetzt denken, deren Wirkung die Wirkung eines solchen Kräftesystems ersetzt, bezw. deren Drehungsmoment gleich der Summe der Drehungsmomente jener parallel wirkenden Kräfte

wird, und die in ihrer Wirkung gleich der Gesamtwirkung des an den einzelnen Stellen sich offenbarenden freien Magnetismus ist. Dasselbe gilt für die andre Hälfte des Magnetstabs, bezw. für das andre Flächenstück mit dem Schwerpunkt S_1. (Ueber die graphische Darstellung der Wirkungen von Kräften findet man ausführliches in Kleyers Lehrb. der Graphostatik.)

Da ferner die Wirkung des Erdmagnetismus auf die einzelnen Stellen des Magnetstabs von der Stärke des an demselben sich offenbarenden freien Magnetismus abhängig ist (siehe Antw. der Frage 159), so müssen auch die Mittelkräfte der parallelen Kräfte, welche infolge der Einwirkung des Erdmagnetismus auf die einzelnen, freien Magnetismus offenbarenden Stellen des Magnetstabs wirken, in den Fusspunkten F und F_1 der von den Schwerpunkten S und S_1 gefällten Senkrechten SF und $S_1 F_1$ angreifen; wonach auch die Lage der in nebenstehender Antwort präziser definierten magnetischen Pole auf graphische Weise bestimmt ist.

Erkl. 431. Nach der in nebenstehender Antwort gegebenen Definition der magnetischen Pole ergibt sich, dass die magnetischen Pole eines Magnetstabs nicht mit den Enden zusammenfallen, und dass die Lage derselben von der Verteilung des freien Magnetismus in dem betreffenden Magnetstab abhängig ist. *Coulomb* fand, dass für solche Stäbe, welche länger als 25 cm sind und 4—5 mm Dicke haben, die Pole circa 4 cm weit von den Enden abliegen, und dass bei kürzeren Stäben die Entfernung der Pole von den Enden circa $^1/_6$ der ganzen Länge des betreffenden Magnetstabs ist. Bei einem 12 cm langen Stab werden hiernach die Pole circa 20 mm von den Enden entfernt liegen.

Die Untersuchung ergab ferner im allgemeinen, dass bei Stäben, welche dicker als 5 mm sind, die Pole mehr nach der Mitte, für Stäbe unter 4 mm mehr nach den Enden zu liegen und zwar so, dass man bei sehr dünnen Stäben, wie bei den Magnetnadeln, die Pole als mit den Enden zusammenfallend annehmen kann.

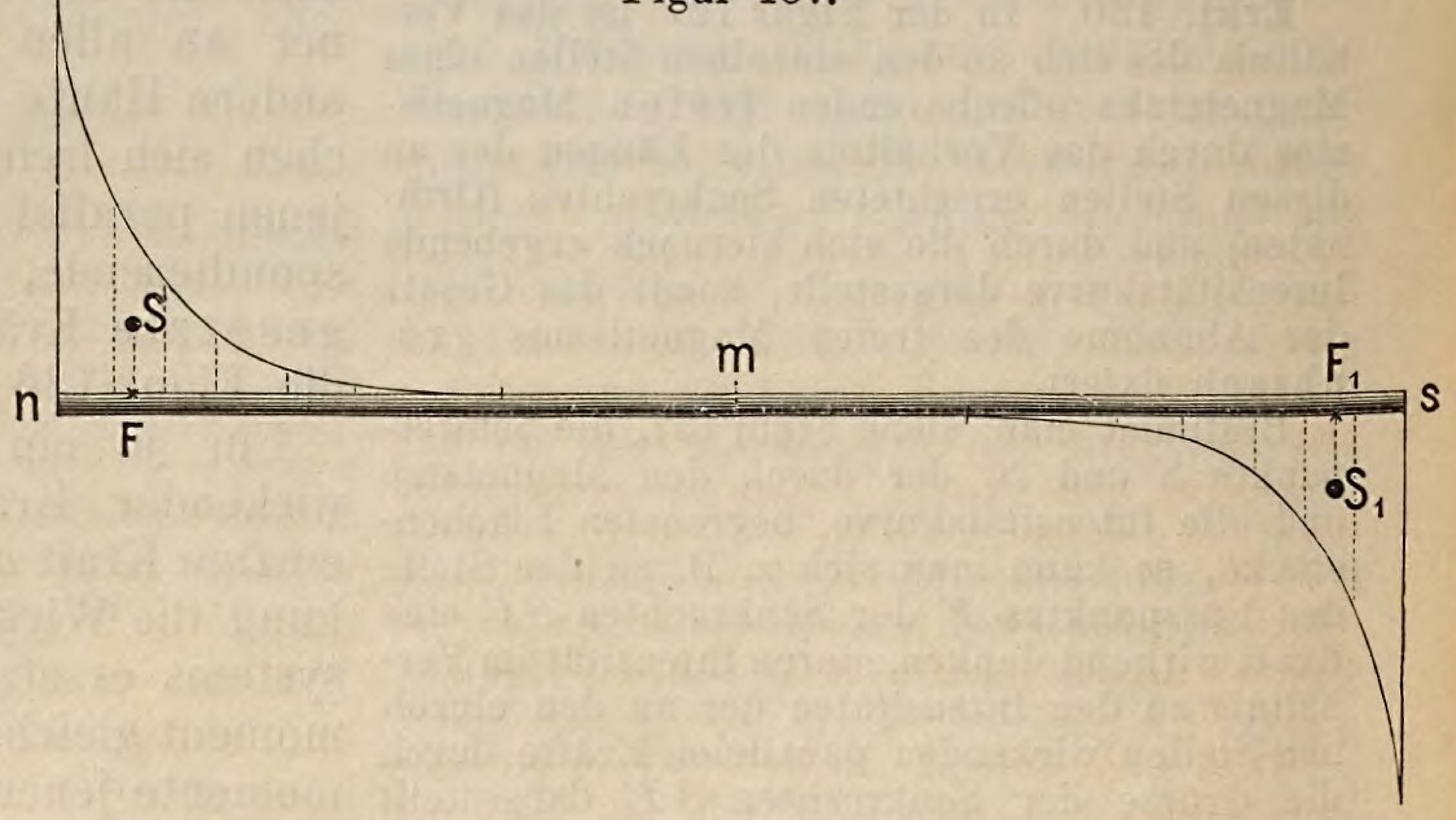
Erkl. 432. Nach der in nebenstehender Antwort gegebenen Definition der magnetischen Pole eines Magnets kann man sich einen Magnetstab in seiner Wirkung nach aussen durch 2 gleiche, nur in den magnetischen Polen sich äussernden parallel aber entgegengesetzt wirkenden magnetischen Kräfte (durch den sogenannten Nordmagnetismus oder positives magnetisches Fluidum und den sogen. Südmagnetismus

ist. Eine solche Mittelkraft (Resultante) muss nach der Erkl. 428 gleich der Summe jener parallelen Kräfte sein, in dem sogenannten Mittelpunkt derselben angreifen und in einer Richtung wirken, die parallel den Richtungen jener Kräfte, also parallel dem magnetischen Meridian ist.

Hiernach lassen sich die magnetischen Pole eines Magnetstabs präziser definieren und man bezeichnet mit dem Namen „die magnetischen Pole eines Magnetstabs“ die Angriffspunkte der Mittelkräfte (Resultanten) aller anziehenden und abstossenden Kräfte, mit welchen eine sehr weit von dem Magnetstab entfernt zu denkende magnetische Kraft, bezw. mit welchen die richtende Kraft des Erdmagnetismus (siehe Erkl. 429) auf die einzelnen, freien Magnetismus offenbarenden Stellen des Magnetstabs wirkt.

Die auf solche Weise definierten magnetischen Pole eines Magnetstabs lassen sich nach der Erkl. 430 auf graphische Weise bestimmen, indem man nach dem von *Coulomb* angegebenen Verfahren (siehe Antwort der Frage 154) die sogen. Intensitätskurve bestimmt, dann die Schwerpunkte der von dieser Intensitätskurve und dem Magnetstab begrenzten Flächenstücke aufsucht und die durch diese Schwerpunkte bestimmten Ordinaten zieht, deren Fusspunkte ihrer Lage nach die zu bestimmenden Pole repräsentieren.

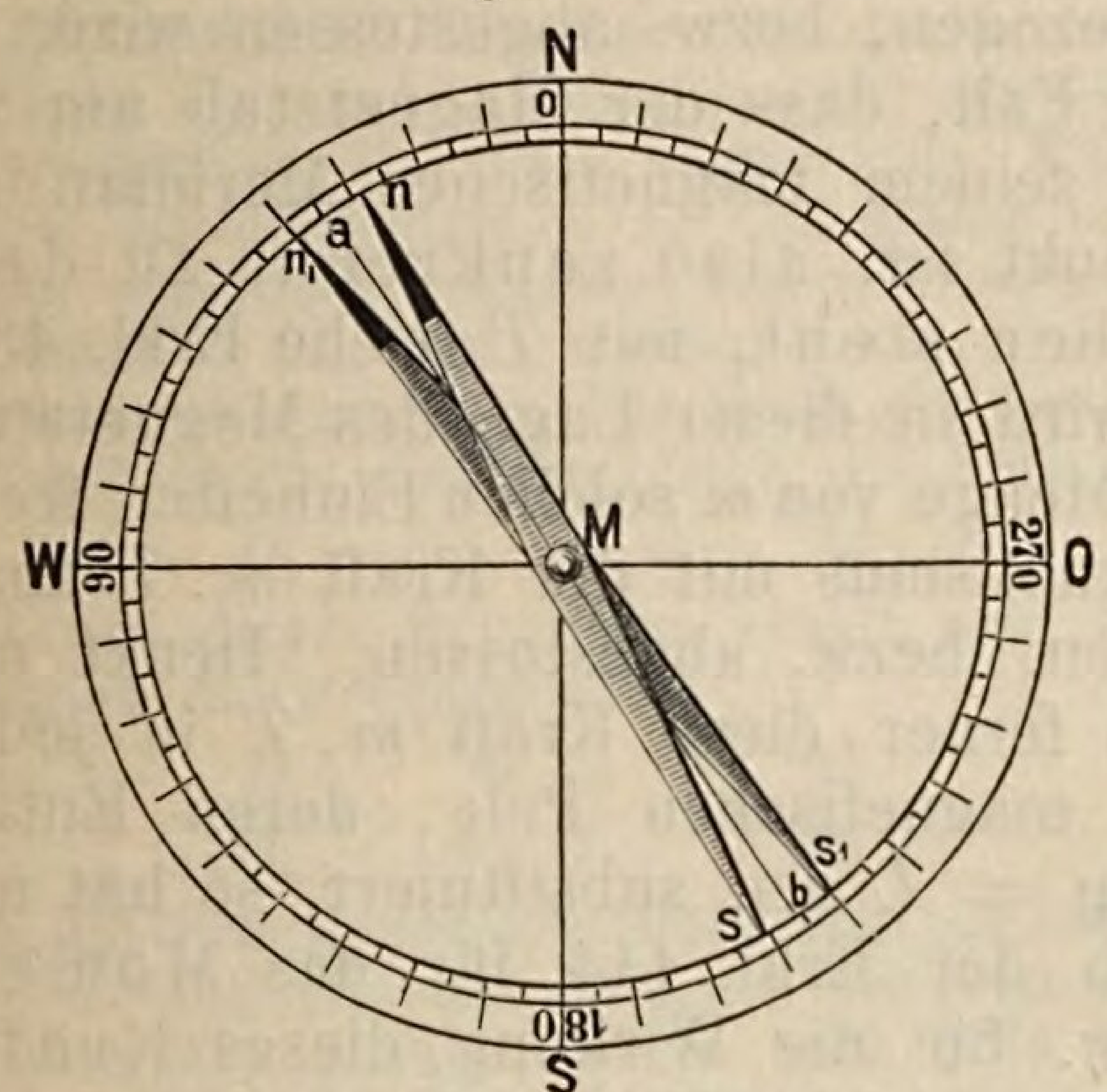
Figur 137.



oder negatives magnetisches Fluidum) ersetzt denken, wovon man besonders bei der Messung der magnetischen Kräfte Gebrauch macht.

Frage 161. Wie kann man nunmehr die magnetische Axe eines Magnetstabs präziser definieren und wie bestimmt man die Lage derselben?

Figur 138.



Erkl. 433. Ein Magnetstab befindet sich in seiner Gleichgewichtslage, wenn sich die in nebenstehender Antwort definierte magnetische Axe im magnetischen Meridian befindet, denn in diesem Falle sind die Drehungsmomente der beiden in den Polen wirkend zu denkenden (anziehenden, bezw. abstossenden) Kräfte des Erdmagnetismus = Null (vergleiche hiermit die Erkl. 425).

Antwort. In Rücksicht der in Antwort der Frage 13, Seite 6, gegebenen Definition der magnetischen Axe eines Magnetstabs und in Rücksicht der in voriger Antwort präzisierten Definition der magnetischen Pole hat man nunmehr unter der magnetischen Axe eines Magnetstabs die Verbindungslinie der Angriffspunkte der zwei Mittelkräfte aller derjenigen anziehenden und abstossenden Kräfte zu verstehen, mit welchen die richtende Kraft des Erdmagnetismus (oder ein sehr weit entfernter Magnetstab) auf die einzelnen, freien Magnetismus offenbarenden Stellen des Magnetstabs wirkt.

Die Lage der Axe bestimmt man hiernach graphisch, indem man, wie in vorhergehender Antwort angegeben wurde, die Lage der Pole auf graphische Weise bestimmt und diese Pole verbindet, oder man bestimmt sie experimentell mittels Umlegen des Magnetstabs, wie es bereits in der Erkl. 241, Seite 86, angegeben und durch die Figur 138 dargestellt ist.

e). Ueber das magnetische Moment eines Magnetstabs.

Frage 162. Was versteht man unter dem sogenannten magnetischen Moment eines Magnetstabs?

Erkl. 434. Die in nebenstehender Antwort eingeführte Grösse T bedeutet nach der Erkl. 435 das Drehungsmoment (siehe Erkl. 416), welches die erdmagnetische Kraft einem Magnetstab erteilt, der um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist (auf welchen also die parallel dem magnetischen Meridian wirkende magnetische Erdkraft senkrecht wirkt) und dessen Pole um die Längeneinheit von der Mitte des Magnetstabs entfernt sind, dabei zugleich die Einheit des freien Magnetismus enthalten (siehe Erkl. 432 und 438).

Erkl. 435. Um die in nebenstehender Antwort erwähnte Grösse T ein für allemal als

Antwort. Wie mittels der Figur 134 und durch die Antwort der Frage 160 gezeigt wurde, ist die Wirkung des Erdmagnetismus auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab in bezug auf die einzelnen, freien Magnetismus offenbarenden Stellen desselben zusammengesetzt aus unendlich vielen Anziehungs- und Abstossungskräften, und kann ersetzt werden durch zwei gleiche in den, nach voriger Antwort definierten, magnetischen Polen angreifende Kräfte.

Hiernach kann man sich einen Magnetstab selbst, in seiner Wirkung nach aussen, durch zwei gleiche, nur in den

eine Konstante betrachten zu können, denke man sich in nebenstehender Formel 7:

1). $D = m . L . T$

$m = 1$

und $L = 1$

gesetzt, indem sich hieraus ergibt:

2). $T = D$

d. h. die Grösse T ist gleich dem Drehungsmoment D, welches die Direktionskraft (des Erdmagnetismus) einem um 90° von seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab erteilt, dessen magnetische Pole um die ein für allemal als Einheit angenommene Längeneinheit von einander entfernt sind und in welchen solche Mengen freien Magnetismus angehäuft zu denken sind, die gleich der Einheit sind, mit welcher man sich die Mengen freien Magnetismus gemessen denkt, oder kürzer gesagt:

Die Grösse T ist gleich der Direktionskraft (siehe Erkl. 438), bezw. gleich dem Drehungsmoment eines um 90° von seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstabs, dessen magnetisches Moment = 1 ist (s. auch die Erkl. 434).

Die Grösse T ist hiernach abhängig von der Stärke des Erdmagnetismus, von der angenommenen Längeneinheit und von der als Einheit gewählten Menge freien Magnetismus. Weiteres über die Bestimmung von T findet man in einem späteren Abschnitt.

Erkl. 436. Man sagt, zwei Grössen a und b sind direkt proportional oder proportioniert, wenn sie so von einander abhängig sind, dass eine nfache Vermehrung oder Verminderung der einen auch eine nfache Vermehrung oder Verminderung der andern zur Folge hat. In diesem Falle ist die Abhängigkeit der zwei Grössen a und b durch die Gleichung:

1). $a = b$

ausgedrückt, d. h. zwei gleiche Grössen (Ausdrücke) sind direkt proportional.

Sind hingegen jene zwei Grössen a und b so von einander abhängig, dass mit einer nfachen Vermehrung oder Verminderung bezw. eine nfache Verminderung oder Vermehrung stattfindet, so sagt man, sie sind indirekt oder umgekehrt proportional.

In diesem Falle ist die Abhängigkeit der zwei Grössen a und b durch die Gleichung:

2). $a = \frac{1}{b}$

ausgedrückt, d. h. zwei Grössen a und b, von denen die eine gleich dem reziproken Wert der andern ist, sind umgekehrt proportional; denn wird die eine nmal grösser, so muss die andre nmal kleiner werden, damit die Beziehung: $a = \frac{1}{b}$, in welcher die Grössen a und b stehen, nicht alteriert wird. Es ist nämlich:

$$n . a = \frac{1}{b : n} \quad \text{oder} \quad a : n = \frac{1}{b . n}$$

erwähnten magnetischen Polen angehäuften Mengen freien Nord- und Südmagnetismus (oder auch durch zwei gleiche Mengen + und — Fluidums) ersetzt denken (siehe auch Erkl. 431 und 432).

Bezeichnet man nun die Kraft, mit welcher die Einheit der, in jedem der magnetischen Pole angehäuft zu denkenden, Menge m freien Magnetismus von der magnetischen Kraft der Erde angezogen, bezw. abgestossen wird, für den Fall, dass der Magnetstab um 90° von seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, also senkrecht zu demselben steht, mit T (siehe Erkl. 434), so wird in dieser Lage des Magnetstabs die Menge von m solchen Einheiten freien Magnetismus mit der Kraft $m . T$ angezogen, bezw. abgestossen. Denkt man sich ferner diese Kraft $m . T$ in jedem der magnetischen Pole, deren Entfernung $= L$ sei, substituiert, so hat man nach der Erkl. 414 für das Moment, bezw. für die Wirkung dieses Kräftepaares (siehe Erkl. 158, Seite 58, und Antwort der Frage 159) oder für das Drehungsmoment D, welches die Direktionskraft (der Erdmagnetismus) auf den Magnetstab, wenn sich derselbe in einer zu seinem magnetischen Meridian senkrechten Lage befindet (also um 90° abgelenkt ist), ausübt, die

Formel 7 . . $D = m . T . L$

Wird die Grösse T ein für allemal als eine Konstante betrachtet (siehe Erkl. 435), so ergibt sich nach der Erkl. 436 aus der Formel 7 der Satz:

„Das Drehungsmoment D der Direktionskraft eines um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstabs, sowie auch jede andre analoge Fernwirkung desselben nach aussen ist, soweit sie von ihm allein abhängt, proportional dem Produkte, bestehend aus der Menge m des in einem der Pole angehäuft gedachten freien Magnetismus und dem Abstand L der magnetischen Pole.“

Dieses Produkt $m . L$ nennt man das „magnetische Moment“ des Magnetstabs und bezeichnet es durch M.

Frage 163. Wozu dient das magnetische Moment eines Magnetstabs in bezug auf die Messung der magnetischen Kraft desselben und auf welche Weise kann man dasselbe bestimmen?

Antwort. Da nach voriger Antwort und der Erkl. 437 die Wirkungen von Magnetstäben nach aussen, soweit sie von ihnen allein abhängen, proportional ihren magnetischen Momenten sind, so benutzt man die magnetischen Momente als Mass zur Messung der Kräfte der Magnete.

Das magnetische Moment eines Magnetstabs kann man unter Benutzung des von dem Erdmagnetismus auf den um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausgeübten Drehungsmoments auf zweierlei Arten bestimmen, nämlich:

1). relativ, d. h. in Beziehung zu dem magnetischen Moment eines andern Stabes, mittels der in der Erkl. 437 aufgestellten Relation:

Formel 8 . . $D : D_1 = M : M_1$

indem sich nach derselben bei konstanter Wirkung des Erdmagnetismus die magnetischen Momente zweier Magnetstäbe wie deren Direktionskräfte verhalten (siehe Erkl. 438), und indem man hiernach nur das Verhältnis der Direktionskräfte beider Magnetstäbe zu bestimmen hat, oder

2). absolut, d. h. in Beziehung auf irgend eine zu wählende Einheit (siehe Erkl. 434), mittels der in der Antwort der Frage 162 aufgestellten Formel 7:

$$D = M . T$$

indem sich hieraus:

Formel 9 . . $M = \frac{D}{T}$

ergibt.

Wie man die Direktionskraft D durch Vergleichung und nach absolutem Mass findet, das ergibt sich aus den folgenden Abschnitten.

Erkl. 437. Nach der in der Antwort der Frage 162 aufgestellten Formel 7:

1). . . . $D = m . L . T = M . T$

hat man in analoger Weise für die Direktionskraft (siehe Erkl. 438), bezw. für das Drehungsmoment D_1 eines andern, um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstabs, dessen Länge $= L_1$ und dessen in den Polen angehäuft gedachten Mengen freien Magnetismus $= m_1$ sind, vorausgesetzt, dass die Wirkung der magnetischen Kraft der Erde auf beide Magnete dieselbe bleibt, die Relation:

2). . . . $D_1 = m_1 . L_1 . T = M_1 . T$

und aus diesen Relationen erhält man durch Division die Proportion:

3). . . . $\frac{D}{D_1} = \frac{m . L}{m_1 . L_1} = \frac{M}{M_1}$

d. h. die Direktionskräfte (siehe Erkl. 438) zweier, um 90° aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstäbe, sowie auch jede andre analoge Wirkung derselben nach aussen, soweit sie von den Magnetstäben allein abhängt, sind direkt proportional den magnetischen Momenten dieser Magnetstäbe.

Erkl. 438. Auf jeden der beiden Pole eines um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstabs wirkt die magnetische Erdkraft, die Direktionskraft D, in senkrechter Richtung und zwar nach entgegengesetzter Seite. Ist der Abstand dieser beiden Pole gleich der Längeneinheit, so ist nach der Erkl. 414 das Moment dieses Kräftepaares $= D . 1$ oder $= D$. Unter D versteht man somit nicht allein die Direktionskraft selbst, sondern auch das Drehungsmoment, welches dieselbe auf einen um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt, dessen Pole um die Längeneinheit abstehen.

Erkl. 439. Aus nebenstehender Antwort ergibt sich, dass zur Messung der magnetischen Kraft eines Magnetstabs die Direktionskraft desselben nur indirekt benutzt wird.

f). Messung der magnetischen Direktionskraft eines Magnetstabs in bezug auf die eines andern Magnetstabs.

Frage 164. Nach welchen Methoden kann man die magnetische Direktionskraft eines Magnetstabs in bezug auf die eines andern Magnetstabs bestimmen?

Antwort. Die magnetische Direktionskraft eines Magnetstabs kann man relativ, d. h. in bezug auf die eines andern Magnetstabs nach zwei Methoden bestimmen, nämlich:

1). mittels der Torsionsmethode, bezw. mittels der *Coulomb*schen Drehwage, und

2). mittels der Schwingungsmethode (siehe die Antwort der Frage 155).

Frage 165. Wie verfährt man bei der Bestimmung der magnetischen Direktionskraft eines Magnetstabs in bezug auf die eines andern Magnetstabs und zwar mittels Anwendung der *Coulomb*schen Drehwage?

Erkl. 440. Zur Bestimmung des Drehungsmoments d, welches die Direktionskraft D auf den um den Winkel α aus seinem magnetischen Meridian NS abgelenkten Magnetstab ns ausübt, hat man nach der Erkl. 418, Seite 158, die Relation:

1). $d = D \,.\, \sin\alpha$

Erkl. 441. Aus der nebenstehenden Gleichung:

Formel 10 . . $D = T \cdot \dfrac{\delta - \alpha}{\sin\alpha}$

kann man, wenn der Wert für den Torsionskoeffizienten T des Metalldrahts näher bestimmt wird (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik) die Direktionskraft D bestimmen.

Erkl. 442. Setzt man in der in der Erkl. 440 aufgestellten Relation:

1). $d = D \,.\, \sin\alpha$

$\alpha = 90^0$, also $\sin\alpha = \sin 90^0$

so erhält man:

$d = D \,.\, \sin 90^0$ oder, da $\sin 90^0 = 1$ ist:

2). $d = D$

d. h. ist der Magnetstab um 90⁰ vom magnetischen Meridian abgelenkt, ist er also senk-

Antwort. Zuerst stelle man die in Antwort der Frage 156 beschriebene und durch die Figuren 128 und 131, Seite 153 dargestellte Drehwage so auf, dass sich die magnetische Axe des Magnetstabs ns im magnetischen Meridian befindet und dass der Aufhängedraht ohne Torsion ist.

Tordiert man alsdann durch Drehung des Knopfes y den Aufhängedraht um den Winkel δ^0 (z. B. um zwei Umdrehungen, also um 720^0), und beträgt die hierdurch hervorgerufene Ablenkung des Magnetstabs vom magnetischen Meridian $= \alpha^0$, so erhält man mit Rücksicht, dass den Magnetstab in seiner neu angenommenen Gleichgewichtslage zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte, nämlich die Torsionskraft des Fadens, welche bestrebt ist, den Magnetstab vom magnetischen Meridian abzulenken, und die magnetische Direktionskraft, welche bestrebt ist, den Magnetstab in den magnetischen Meridian zurückzuführen, zu halten suchen, dass also für jene Gleichgewichtslage die Grössen der Wirkungen dieser beiden Kräfte, das sind die Drehungsmomente derselben, gleich sein müssen, nach den Erkl. 418, 419 und 439 die Gleichung:

recht zur magnetischen Meridianebene, so ist die Kraft d, mit welcher der Magnetstab in den Meridian zurückgeführt wird, gleich der Direktionskraft D selbst (vergleiche hiermit die Erkl. 438).

Erkl. 443. Aus der in nebenstehender Antwort entwickelten Formel 11:

a). $D : D_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha)$

und aus der in Antwort der Frage 163 entwickelten Formel 8:

b). $D : D_1 = M : M_1$

ergibt sich die weitere

Formel 12 . . $M : M_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha)$

d. h. die magnetischen Momente zweier Stäbe verhalten sich wie die Winkel, um welchen der Aufhängedraht der Drehwage tordiert werden muss, damit die beiden Stäbe gleiche Ablenkungen aus dem magnetischen Meridian erhalten.

Hiernach lassen sich die Wirkungen zweier Magnetstäbe nach aussen vergleichen, bezw. relativ messen und untersuchen, welcher von zwei Magnetstäben die grösste magnetische Kraft hat, bezw. wievielmal grösser die magnetische Kraft des einen als die des andern ist.

1). $D . \sin\alpha = T . (\delta - \alpha)$

aus welcher man:

Formel 10 . $D = T . \frac{\delta - a}{\sin\alpha}$

erhält (siehe die Erkl. 441).

In analoger Weise erhält man für die Direktionskraft D_1 eines andern in dieselbe Torsionswage eingeschobenen Magnetstabs, wenn der Aufhängedraht um einen solchen Winkel δ_1 tordiert wurde, dass die Ablenkung des Magnetstabs von seinem magnetischen Meridian ebenfalls $= \alpha^0$ betrug, die Relation:

2). $D . \sin\alpha = T . (\delta_1 - \alpha)$

Aus den Gleichungen 1). und 2). ergibt sich nunmehr durch Division die

Formel 11 . $D : D_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha)$

d. h. die Direktionskräfte zweier Magnetstäbe verhalten sich direkt wie die Winkel, um welche der Aufhängedraht tordiert werden musste, um den beiden Magnetstäben gleiche Ablenkungen aus dem magnetischen Meridian zu erteilen, wonach sich das Verhältnis der Direktionskräfte zweier Magnete aus dem Verhältnis der beobachteten Winkel: $(\delta - \alpha)$ und $(\delta_1 - \alpha)$ bestimmen lässt (siehe Erkl. 443).

Frage 166. Wie verfährt man bei der Bestimmung der magnetischen Direktionskraft eines Magnetstabs in bezug auf die eines andern Magnetstabs und zwar mittels der Methode der Oscillationen?

Erkl. 444. Bei den Methoden der Schwingungen muss der Aufhängefaden möglichst ohne Torsion sein; man benutzt deshalb hierzu einfache Seiden- oder Coconfäden, weil solche Fäden nur sehr geringe, fast keine Torsion haben.

Erkl. 445. Nebenstehend entwickelte Relation: $D : D_1 = n^2 : n_1^2$ ergibt sich auch aus der Erkl. 451.

Antwort. Wie bereits in den Antworten der Fragen 133, Seite 124, und 158, Seite 159 erwähnt, sind die kurzen Schwingungen, welche ein an einem einfachen Seidenfaden (siehe Erkl. 444) horizontal aufgehängter Magnetstab unter dem Einfluss der richtenden Kraft des Erdmagnetismus macht, denselben Gesetzen unterworfen als die Schwingungen, die ein Pendel unter dem Einfluss der Schwerkraft der Erde macht.

Wie nun die beschleunigenden Kräfte, welche die Schwingungen eines und desselben Pendels an zwei verschiedenen

Erkl. 446. Aus der in nebenstehender Antwort entwickelten Formel 13:

$$D : D_1 = n^2 : n_1^2$$

und aus der in Antwort der Frage 163 entwickelten Formel 8:

$$D : D_1 = M : M_1$$

ergibt sich die weitere

Formel 14 . . $M : M_1 = n^2 : n_1^2$

d. h. die magnetischen Momente zweier ganz gleichen, nur verschieden stark magnetisierten Magnetstäbe sind proportional den Quadraten der Schwingungszahlen.

Hiernach lassen sich die Wirkungen zweier gleichen Magnetstäbe nach aussen vergleichen, bezw. relativ messen (siehe Erkl. 443).

Orten der Erde verursachen, den Quadraten der Schwingungszahlen direkt proportional sind (siehe Erkl. 342, Seite 124), so sind auch die Direktionskräfte zweier ganz gleichen aber verschieden stark magnetisierten Magnetstäbe direkt proportional den Quadraten der Schwingungszahlen, und man hat für die Grössen D und D_1 zweier gleichen, aber verschieden stark magnetisierten Magnetstäbe, deren Schwingungszahlen bezw. $= n$ und n_1 sind, die

Formel 13 . $D : D_1 = n^2 : n_1^2$

(siehe Erkl. 444—446 und Erkl. 451).

g). Messung der magnetischen Direktionskraft eines Magnetstabs unabhängig von der eines andern Magnetstabs.

Frage 167. Auf welche Weise lässt sich die magnetische Direktionskraft eines Magnetstabs ohne Rücksicht auf die eines andern bestimmen?

Erkl. 447. Aus der Mechanik ist bekannt, dass zwischen der Schwingungsdauer t eines physischen Pendels [d. i. ein solcher, in welchem auch die zu bewegende Masse m, bezw. das Gewicht p desselben, siehe Erkl. 448, in Betracht gezogen werden muss, was bei dem sogenannten mathematischen Pendel nicht der Fall ist], dem von der Masse m des Pendels abhängigen Trägheitsmoment K (siehe Erkl. 449) und dem Drehungsmoment D des Pendels, welches die beschleunigende Kraft der Erde (siehe Erkl. 450) dem Pendel in einer zur Richtung der Kraft senkrechten Lage erteilt, die Relation:

a). $t = \pi . \sqrt{\frac{K}{D}}$

besteht.

Ausführliches findet man in Kleyers Lehrbuch der Mechanik, Abschnitt: Die Pendelgesetze.

Erkl. 448. Die Masse m eines Körpers wird gemessen durch den Quotient, dessen Dividend das Gewicht p des Körpers und dessen Divisor die beschleunigende Kraft g (= 9,808) der Erde ist, in Zeichen:

a). $m = \frac{p}{g}$

Hieraus ergibt sich:

b). $p = g . m$

d. h. die Kraft, welche auf die Masse m wirkt, ist gleich dem Produkte aus der Beschleuni-

Antwort. Um die magnetische Direktionskraft eines Magnetstabs unabhängig von der eines andern, also nicht durch Vergleichung, wie es in den Antworten der Fragen 165 und 166 geschehen ist, zu bestimmen, benutzt man die Schwingungsmethode und verfährt wie folgt:

Die Dauer der Schwingungen, welche ein an einem einfachen Seidenfaden (siehe Erkl. 444) horizontal aufgehängter Magnetstab um seine Gleichgewichtslage macht, ist wie die eines Pendels (siehe Erkl. 447) abhängig von der Grösse der zu bewegenden Masse und von der Grösse der bewegenden Kraft.

Wie nun bei dem physischen Pendel zwischen der Schwingungsdauer t, dem von der Masse (dem Gewicht) des Pendels abhängigen Trägheitsmoment K und dem Drehungsmoment D des Pendels, welches die beschleunigende Kraft der Erde dem Pendel in einer zur Richtung der Kraft senkrechten Lage erteilt, die Relation:

$$t = \pi . \sqrt{\frac{K}{D}}$$

besteht, so besteht auch bei einem horizontal aufgehängten Magnetstab, dessen Aufhängefaden ohne Torsion ist, zwischen

gung und der Masse, welcher sie jene Beschleunigung erteilt, oder: die Beschleunigung g, welche eine Kraft der Masseneinheit erteilt, ist ein Mass dieser Kraft, wenn m die in jene Einheit ausgedrückte Masse bedeutet.

(Siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik, Abschnitt: Die Masse.)

Erkl. 449. Ein Lehrsatz aus der Mechanik heisst: „Wirkt eine konstante Kraft unveränderlich an einem Punkte eines um eine feste Axe als Drehaxe drehbaren physischen Körpers, z. B. eines Stabes, und soll infolge dieser wirkenden Kraft jede Masse eines materiellen Punktes (nicht eines mathematischen Punktes) dieselbe Winkelgeschwindigkeit (drehende Bewegung machen, so müssen sich diese Massenteilchen umgekehrt verhalten wie die Quadrate ihrer Abstände von der Drehungsaxe.“

Das Produkt aus der Masse m eines Punktes und des Quadrats seines Abstandes r von der Drehungsaxe, also das Produkt $m \cdot r^2$ nennt man das Trägheitsmoment des Punktes m.

Denkt man sich im Abstande 1 von der Drehaxe irgend eine Masse angebracht, so ist nach vorigem deren Trägheitsmoment gleich der Masse selbst und man kann in bezug auf die vorherige Definition des Trägheitsmoments sagen:

Das Trägheitsmoment $m \cdot r^2$ einer Masse m gibt an, welche Masse in dem Abstand 1 von der Drehungsaxe angebracht, jene im Abstand r befindliche Masse m ersetzen kann, so dass die Winkel-(Drehungs-) geschwindigkeit unverändert bleibt.

Unter dem Trägheitsmoment K eines Körpers versteht man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte desselben; die Grösse desselben hängt im wesentlichsten von der Lage der Drehungsaxe ab.

(Siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik, Abschnitt: Trägheitsmoment).

Erkl. 450. In der Mechanik versteht man unter „Beschleunigung“ (Acceleration) jede gleichförmig oder als gleichförmig gedachte, meist in Meter ausgedrückte Aenderung einer Geschwindigkeit in der Zeiteinheit, nämlich in der Sekunde.

Eine Beschleunigung kann positiv sein, d. h. vergrössernd wirken, oder sie kann negativ sein, d. h. verzögernd wirken.

Jede Beschleunigung wird durch eine kontinuierlich wirkende Kraft, wie durch die Schwerkraft der Erde, magnetische Anziehungskraft der Erde etc. hervorgerufen und hängt von der Grösse derselben ab.

Erkl. 451. Nach der in nebenstehender Antwort entwickelten Formel:

$$1). \; . \; . \; . \; . \; . \; D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

hat man für einen andern Magnetstab, dessen Direktionskraft, wenn er um 90° vom magne-

der Schwingungsdauer t, dem von der Masse (dem Gewichte) des Magnetstabs abhängigen Trägheitsmoment K und dem Drehungsmoment D des Magnetstabs, welches die Direktionskraft D dem Magnetstab in der zur Richtung der Kraft, also zum magnetischen Meridian senkrechten Lage erteilt, die Relation:

$$1). \; . \; . \; . \; . \; . \; t = \pi . \sqrt{\frac{K}{D}}$$

und hieraus erhält man der Reihe nach:

$$t^2 = \pi^2 . \frac{K}{D}$$

oder:

$$\textbf{Formel 15} \; . \; D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$ (siehe Erkl. 451)

Um nach dieser Formel die Direktionskraft D, bezw. das Drehungsmoment eines vom magnetischen Meridian um 90° abgelenkten, also zum magnetischen Meridian senkrechten Magnetstabs bestimmen zu können, ist es erforderlich, die Schwingungsdauer t und das Trägheitsmoment K des Magnetstabs zu bestimmen; auf welche Weise dies geschehen kann, ergibt sich aus nachfolgenden Abschnitten.

tischen Meridian abgelenkt ist, mit D_1, dessen Trägheitsmoment mit K_1 und dessen Schwingungsdauer mit t_1 bezeichnet wird, die analoge Relation:

2). $D_1 = \frac{\pi^2 . K_1}{t_1^2}$

Aus den Gleichungen 1). und 2). ergibt sich, wenn die Schwingungsdauer t und t_1 gleich sind, die Relation:

Formel 16 . . $D : D_1 = K : K_1$

d. h. die Direktionskräfte zweier Magnetstäbe sind bei gleicher Schwingungsdauer direkt proportional den Trägheitsmomenten der Stäbe.

Ferner ergibt sich aus den Gleichungen 1). und 2)., wenn die Trägheitsmomente K und K_1 gleich sind, die Relation:

Formel 17 . . $D : D_1 = t_1^2 : t^2$

d. h. die Direktionskräfte zweier Magnetstäbe sind bei gleichem Trägheitsmoment, bezw. bei gleichen Massen, umgekehrt proportional den Quadraten der Schwingungsdauer.

Da ferner nach der Erkl. 343 zwischen der Schwingungsdauer t und t_1, und den Schwingungszahlen n und n_1, welche zwei Magnetstäbe in gleicher Zeit machen, die Relation besteht:

3). $t : t_1 = n_1 : n$

so ergibt sich aus der Formel 17). und Gleichung 3). die schon früher entwickelte Relation:

Formel 13 . . $D : D_1 = n^2 : n_1^2$

d. h. die Direktionskräfte zweier Magnetstäbe sind bei gleichen Trägheitsmomenten, bezw. bei gleichen Massen direkt den Quadraten der Schwingungszahlen proportional. (Dieser letztere Satz wurde in der Antwort der Frage 166 benutzt; siehe auch die in der Erkl. 342 aufgestellte Relation: $g_1 : g = n_1^2 : n^2$, welche Entwickelung sich nur auf das mathematische, nicht aber auch auf das physische Pendel bezog; in welcher Entwickelung also nicht das Trägheitsmoment, bezw. die Masse, oder das Gewicht des Pendels in Betracht gezogen wurde).

h). Ueber die Bestimmung der Schwingungsdauer eines Magnetstabs.

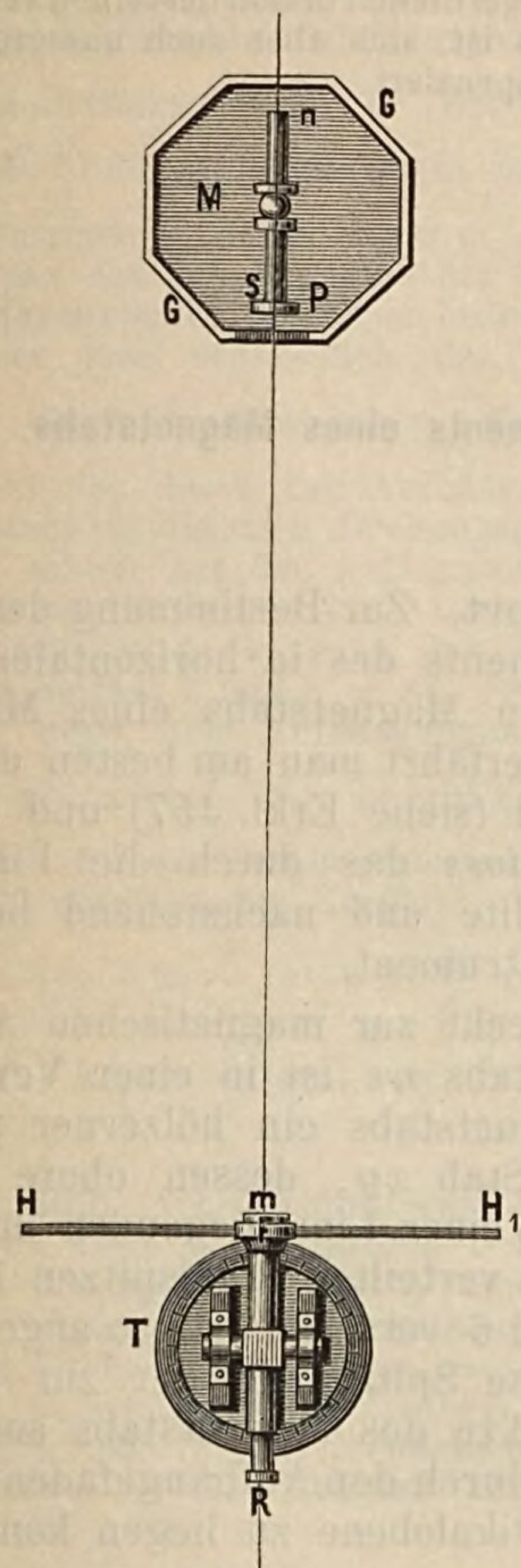
Frage 168. Mittels welchen Instruments und auf welche Weise lässt sich die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs bestimmen?

Erkl. 452. Unter der „Schwingungsdauer“ eines oscillierenden (schwingenden) Magnetstabs versteht man wie beim Pendel die Zeit, welche verstreicht, bis der Magnetstab bei sehr kleinen (unendlich kleinen) Schwin-

Antwort. Um die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs mit der grösstmöglichen Schärfe zu bestimmen, benutzt man am besten das bereits in Antwort der Frage 108, Seite 87 beschriebene *Gauss*sche Magnetometer.

gungen von der einen weitesten Entfernung von seiner Gleichgewichtslage bis zur andern weitesten Entfernung von seiner Gleichgewichtslage kommt, oder die Zeit, welche der äusserste Punkt (oder irgend ein Punkt) des Magnetstabs die sogenannte Amplitude zu durchlaufen hat (siehe die Erkl. 453—455).

Figur 139.



Erkl. 453. Die weiteste Entfernung eines pendelartig schwingenden Körpers von seiner Gleichgewichtslage, welche nach zwei Seiten hin gemessen werden kann, nennt man die „Elongation“. Der Winkel zwischen einer solchen Elongation und der Gleichgewichtslage heisst „Elongationswinkel“ oder auch Ausschlagswinkel oder kurzweg Ausschlag.

Erkl. 454. Unter „Amplitude“ versteht man den Bogen von einer Elongation zur andern.

Erkl. 455. Bei allen Pendelgesetzen, ebenso bei hierauf basierten Gesetzen der Schwingungen eines Magnetstabs wird vorausgesetzt, dass

Ist das Magnetometer, wie es in Antwort der Frage 109, Seite 90 angegeben ist, aufgestellt und reguliert, so verfährt man zur Bestimmung der Schwingungsdauer t sehr kleiner Schwingungen (siehe Erkl. 452) des Magnetstabs im allgemeinen wie folgt:

Zunächst versetzt man den Magnetstab ns, siehe die Figuren 101 und 102, Seite 88 und 89, durch Annäherung eines andern Magnetstabs in Schwingungen, entfernt diesen Magnetstab wieder und wartet, bis diese Schwingungen sehr klein geworden und als isochrone Schwingungen (siehe Erkl. 455) betrachtet werden können.

Nun könnte man die Schwingungsdauer einfach finden, indem man die Zeit beobachtet, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden und mit dem Theodolit T beobachteten Elongationen (siehe Erkl. 453) des Magnetstabs liegt; da jedoch eine derartige genaue Beobachtung der Elongationen fast unmöglich ist, so beobachtet man mittels des Fernrohrs RF des Theodolits T, siehe Figur 139, genau die Zeitpunkte (siehe Erkl. 456), wann irgend ein Teilstrich der Skala HH_1, welche in dem Spiegel P gesehen und infolge der Schwingungen des Magnetstabs, an dem der Spiegel P befestigt ist, ebenfalls die Schwingungen mitzumachen scheint, bei seinem scheinbaren Hin- und Hergange den vertikalen Faden des Fadenkreuzes passiert. Die Differenz dieser zwei mit astronomischer Schärfe beobachteten Zeitpunkten gibt die Schwingungsdauer des Magnetstabs an.

Um etwaige Fehler der Beobachtung zu kompensieren, stellt man dieselbe Beobachtung mehrmals an und nimmt aus allen Beobachtungen das arithmetische Mittel.

An der somit bestimmten Schwingungsdauer müssen bei sehr genauen Experimenten noch zwei Korrektionen angebracht werden, nämlich eine Korrektion, welche sich auf die Grösse des Schwingungsbogens bezieht, indem sich die zu bestimmende Schwingungsdauer t nur auf sehr kleine Schwingungsbogen (siehe Erkl. 455), nicht aber auf grössere Bogen bezieht; und eine zweite Korrektion, welche sich auf die Torsion des Aufhängefadens bezieht.

die Dauer der Schwingungen bei den verschiedensten Amplituden gleich gross, dass die Dauer isochron ist. Dies ist aber nur der Fall, wenn diese Schwingungen sehr klein sind und infolgedessen die Amplituden 2 bis 3^0 nicht übersteigen.

Erkl. 456. Zur Bestimmung der Zeitpunkte, wann ein bestimmter Teilstrich der Skala HH_1, siehe Figur 139, im Spiegel P das Fadenkreuz des Fernrohrs RF passiert, benutzt man am besten eine laut schlagende Sekundenuhr und zählt von einem gewissen Schlag der Uhr ab, wieviel Schläge bis zum Hin-, bezw. Hergang des betreffenden Teilstrichs die Uhr gethan hat. Die Differenz der Schläge gibt die in Sekunden ausgedrückte Zeitdauer an.

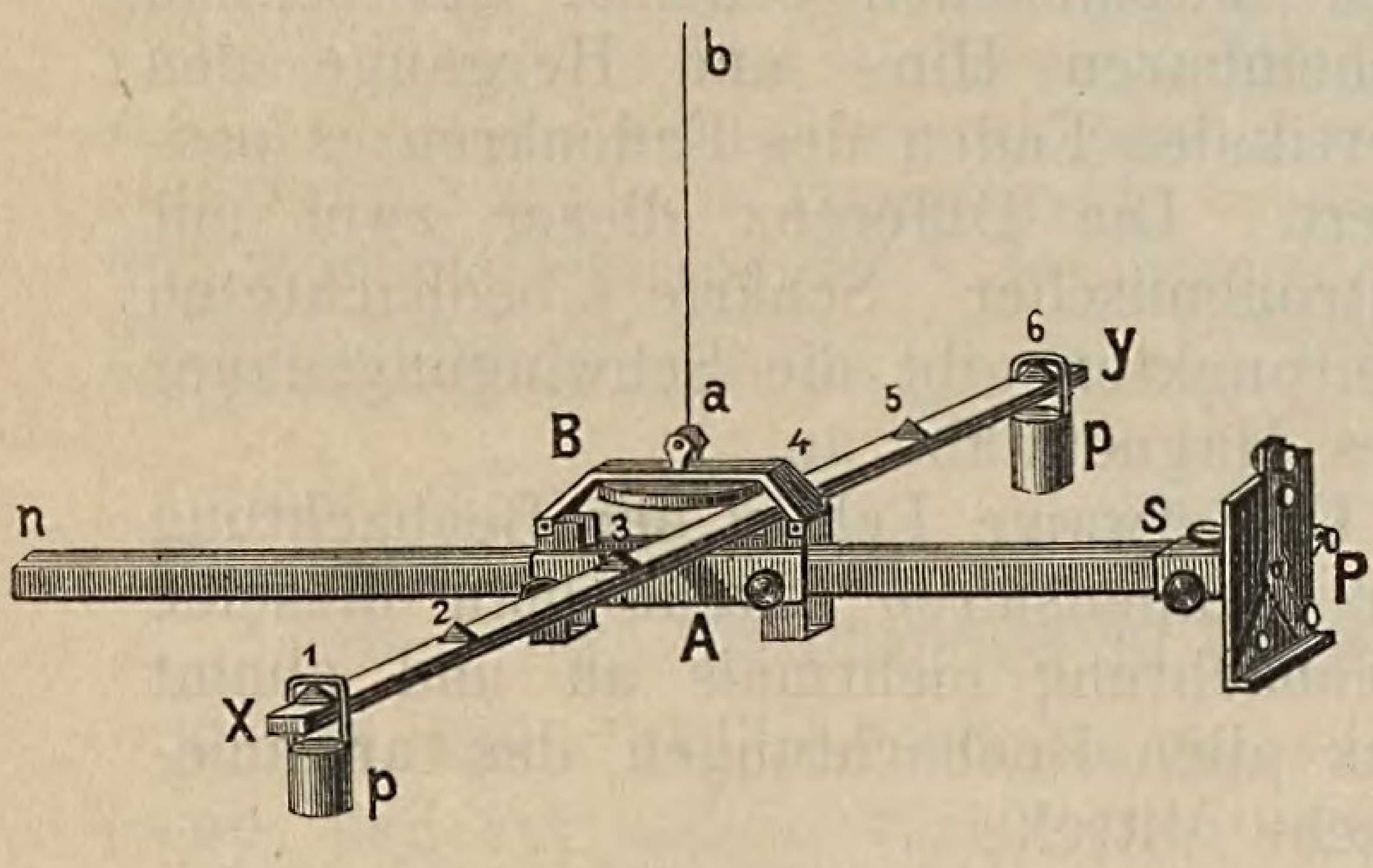
Diese beiden Korrektionen können für den vorliegenden Zweck vernachlässigt werden, indem sich in bezug auf die erste dieser Korrektionen mittels eines guten Fernrohrs und bei zuverlässiger Beobachtung schon sehr kleine Schwingungen beobachten lassen, und indem in bezug auf die zweite Korrektion bei solchen kleinen Schwingungen und bei Benutzung eines Coconfadens die infolge der Schwingungen hervorgerufene Torsion desselben verschwindend klein ist, sich aber auch ausserdem teilweise kompensiert.

i). Ueber die Bestimmung des Trägheitsmoments eines Magnetstabs.

Frage 169. Auf welche Weise kann man das Trägheitsmoment des Magnetstabs eines Magnetometers bestimmen?

Erkl. 457. Das Trägheitsmoment eines Körpers, welcher unter dem Einfluss irgend einer beschleunigenden Kraft schwingt, kann auch durch Rechnung gefunden werden (siehe Erkl. 459). Hierzu ist aber erforderlich, dass die geometrische Gestalt (zur Bestimmung des Schwerpunktes etc.) desselben eine genau bestimmbare ist, und dass angenommen werden kann, die Masse des Körpers in der geometrisch bestimmten Gestalt sei regelmässig verteilt. (Siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik.)

Figur 140.



Erkl. 458. Nach der Erkl. 449 versteht man unter dem Trägheitsmoment eines Körpers die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte, bezw. aller materiellen Teile; ferner versteht man nach jener Erkl. unter dem Trägheitsmoment eines materiellen Punktes das Produkt, bestehend aus der Masse m und dem Quadrat der Entfernung dieses Punktes von der Drehaxe.

Antwort. Zur Bestimmung des Trägheitsmoments des in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs eines Magnetometers verfährt man am besten experimentell (siehe Erkl. 457) und benutzt nach *Gauss* das durch die Figur 140 dargestellte und nachstehend beschriebene Instrument.

Senkrecht zur magnetischen Axe des Magnetstabs ns ist in einer Vertiefung des Magnetstabs ein hölzerner prismatischer Stab xy, dessen obere Fläche mit 6 in einer Linie liegenden und symmetrisch verteilten Stahlspitzen 1, 2, 3, 4, 5 und 6 versehen ist, so angebracht, dass diese Spitzen in der zur magnetischen Axe des Magnetstabs senkrechten und durch den Aufhängefaden gehenden Vertikalebene zu liegen kommen.

Hängt man nun auf zwei korrespondierenden Spitzen, z. B. auf die Spitzen 1 und 6 die gleichen Gewichte p, lässt den so beschwerten Magnetstab ns wieder schwingen und beobachtet, wie in vorigem Abschnitt angegeben ist, nunmehr die Schwingungsdauer, so wird man hierfür einen andern Wert t_1 erhalten, als ohne diese Gewichtsbeschwerung. Setzt man nunmehr in der auf Seite 171 entwickelten Formel 15:

$$1) \ldots\ldots D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

Nun besteht das Trägheitsmoment des nach Figur 140 aufgehängten Magnetstabs mit dem Querstabe xy und den daran hängenden Gewichten p aus der Summe der Trägheitsmomente des Magnetstabs ns, des Holzstabs xy und der gleichen Gewichte p. Bezeichnet man das zu bestimmende Trägheitsmoment des Magnetstabs ns mit K, das Trägheitsmoment des Holzstabs xy mit k, das Trägheitsmoment eines der Gewichte p in bezug auf die durch seine Aufhängepunkte und seinen Schwerpunkt gehende vertikale Drehaxe mit $\frac{p}{g} \cdot a^2$ (worin nach der Erkl. 448 $\frac{p}{g}$ die im Schwerpunkt des Gewichts p konzentriert gedachte Masse m und a die Entfernung des Schwerpunkts des Gewichts p vom Aufhängepunkt desselben bedeutet), und bezeichnet man schliesslich das Trägheitsmoment eines der Gewichte p $\left(\text{Masse } \frac{p}{g}\right)$ in bezug auf den durch den Aufhängefaden des Magnetstabs bestimmten Drehungspunkt, der bei der ersten Art der Aufhängung der Gewichte p auf den Spitzen 1 und 6 $= r_1$ (bei der zweiten Art der Aufhängung der Gewichte p auf den Spitzen 2 und 5 $= r_2$) von den Gewichten, bezw. dem Aufhängepunkt 1 und 6 entfernt sei, mit: $\frac{p}{g} \cdot r_1^2$, so erhält man durch Summation für das Trägheitsmoment des nach Figur 140 aufgehängten Körpers:

$$K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot a^2 + 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot r_1^2$$

oder:

$$K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (a^2 + r_1^2)$$

Erkl. 459. Werden die Gewichte p, siehe Figur 140, nicht in den Spitzen 1 und 6, sondern in den Spitzen 2 und 5, deren Entfernungen von dem durch den Aufhängefaden bestimmten Drehungspunkt bezw. $= r_2$ sind, aufgehängt, so erhält man in analoger Weise wie in der Erkl. 458 für das Trägheitsmoment des Magnetstabs ns mit Holzstab und den Gewichten p:

$$K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (a^2 + r_2^2)$$

Erkl. 460. Aus nebenstehenden Gleichungen:

$$1). \ldots D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

$$2). \ldots D = \frac{\pi^2 \left(K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2)\right)}{t_1^2}$$

$$3). \ldots D = \frac{\pi^2 \left(K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2)\right)}{t_2^2}$$

erhält man das Trägheitsmoment K des Magnetstabs ns wie folgt:

welche die Beziehung zwischen der Direktionskraft D, dem Trägheitsmoment K des schwingenden Magnetstabs und der Schwingungsdauer t ausdrückt, für das Trägheitsmoment K das Trägheitsmoment des nach vorstehender Weise beschwerten Magnetstabs, nämlich:

$$K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2)$$

und für die Zeitdauer t die hiernach beobachtete Zeitdauer t_1, so erhält man alsdann für die Direktionskraft D:

$$2). \; D = \frac{\pi^2 \left(K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2)\right)}{t_1^2}$$

In analoger Weise wird man für die Direktionskraft D, wenn die Gewichte p auf zwei andre Spitzen, z. B. auf die Spitzen 2 und 5 gehängt werden, wonach das Trägheitsmoment $=$

$$K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2)$$

und die beobachtete Schwingungsdauer $= t_2^2$ ist, erhalten:

$$3). \; D = \frac{\pi^2 \left(K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2)\right)}{t_2^2}$$

In den somit aufgestellten drei Gleichungen 1). bis 3). kommen drei Unbekannte, nämlich D, k und K vor, und es kann jede dieser drei Unbekannten berechnet werden; für das Trägheitsmoment K des Magnetstabs findet man:

Formel 18 . $K = 2 . \frac{p}{g} . \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2} . t^2$

Aus Gleichung 1). und 2). erhält man:

$$\frac{\pi^2 . K}{t^2} = \frac{\pi^2 \left(K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2)\right)}{t_1^2}$$

oder:

$$K . t_1^2 = K . t^2 + k . t^2 + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2) . t^2$$

$$K . t_1^2 - K . t^2 - k . t^2 = 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2) . t^2$$

$$4). \quad K . (t_1^2 - t^2) - k . t^2 = 2 \cdot \frac{p}{g} (r_1^2 + a^2) . t^2$$

Aus Gleichung 1). und 3). erhält man:

$$\frac{\pi^2 . K}{t^2} = \frac{\pi^2 \left(K + k + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2)\right)}{t_2^2}$$

oder:

$$K . t_2^2 = K . t^2 + k . t^2 + 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2) . t^2$$

$$K . t_2^2 - K . t^2 - k . t^2 = 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2) . t^2$$

$$5). \quad K . (t_2^2 - t^2) - k . t^2 = 2 \cdot \frac{p}{g} (r_2^2 + a^2) . t^2$$

Aus den Gleichungen 4). und 5). ergibt sich Subtraktion:

$$K . (t_1^2 - t^2 - t_2^2 + t^2) = 2 . \frac{p}{g} \cdot t^2 . (r_1^2 + a^2 - r_2^2 - a^2)$$

oder:

$$K . (t_1^2 - t_2^2) = 2 . \frac{p}{g} \cdot t^2 . (r_1^2 - r_2^2) \quad \text{und}$$

$$6). \; . \; . \; . \; . \quad K = 2 . \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_4^2 - t_2^2} . t^2$$

Erkl. 461. Setzt man in nebenstehender Gleichung:

$$1). \; . \; . \; . \; . \quad D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

für K den mittels der nebenstehend entwickelten Formel:

$$K = 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2} . t^2$$

für K gefundenen Wert ein, so erhält man für D:

$$a). \; . \; . \; . \; . \quad D = 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \pi^2 . \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2}$$

Hiernach könnte man D direkt, ohne vorher das Trägheitsmoment K festzustellen, bestimmen; dies ist jedoch nicht anzuraten, da sich D infolge der steten Variationen des Erdmagnetismus stets ändert, somit bei jeder neuen Bestimmung von D die ganzen Experimente wiederholt werden müssten. Man bestimmt deshalb, wie nebenstehend angegeben ist, zuerst ein für allemal das Trägheitsmoment K des Magnetstabs (siehe auch Erkl. 462).

Erkl. 462. Um sicher zu sein, dass auch während der Bestimmung des Trägheitsmoments

K, siehe Formel 18, keine Veränderung in dem Erdmagnetismus eingetreten ist, bedient man sich während des Experimentierens eines sogen. Kontrolstabs. Aendert sich bei letzterem die stets zu beobachtende Schwingungsdauer, so ist eine Veränderung in dem Erdmagnetismus eingetreten, was zu berücksichtigen ist.

Erkl. 463. Um bei Bestimmung der Direktionskraft [siehe Abschnitt g).] das Trägheitsmoment K des schwingenden Magnetstabs nicht nach der in vorstehender Antwort angegebenen Methode, also nicht durch Experimente bestimmen zu müssen, sondern um es aus den Dimensionen und dem Gewichte des Magnetstabs direkt berechnen zu können (siehe Erkl. 457), konstruierte *W. Weber* den durch die Figur 141 dargestellten ziemlich einfachen Apparat (siehe Erkl. 464). Derselbe besteht aus dem, mittels des Kastens *abcd* vor störenden Luftströmungen geschützten Magnetstab *ns*, welcher die genaue Form eines rechtwinkligen Parallellopipedons mit quadratischem Querschnitt hat, und dessen Länge 100 mm, dessen Breite und Dicke den achten Teil der Länge, nämlich 12,5 mm beträgt. In der Mitte des Stabs befindet sich ein kleines Loch, in welches das Messinghäkchen *h* eingeschraubt werden kann. Dieses Häkchen dient dazu, um den Magnetstab an einem ungedrehten Seidenfaden aufhängen zu können, wie die Figur 141 oder die Figur 142 zeigt. Das Trägheitsmoment K eines solchen parallellopipedischen Magnetstabs in bezug auf die durch den Schwerpunkt desselben gehende feste Drehaxe (den Aufhängefaden) lässt sich, unbeachtet des sehr kleinen Messinghäkchens *h*, aus der

Formel 19 . . $K = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g}$

berechnen. In dieser Formel bedeutet l die Länge, b die Breite, bezw. Dicke, p das Gewicht und g (= 9,81) die beschleunigende Kraft der Erde.

In betreff der Herleitung dieser Formel siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik, Abschnitt: „Ueber das Trägheitsmoment regelmässiger Körper.“

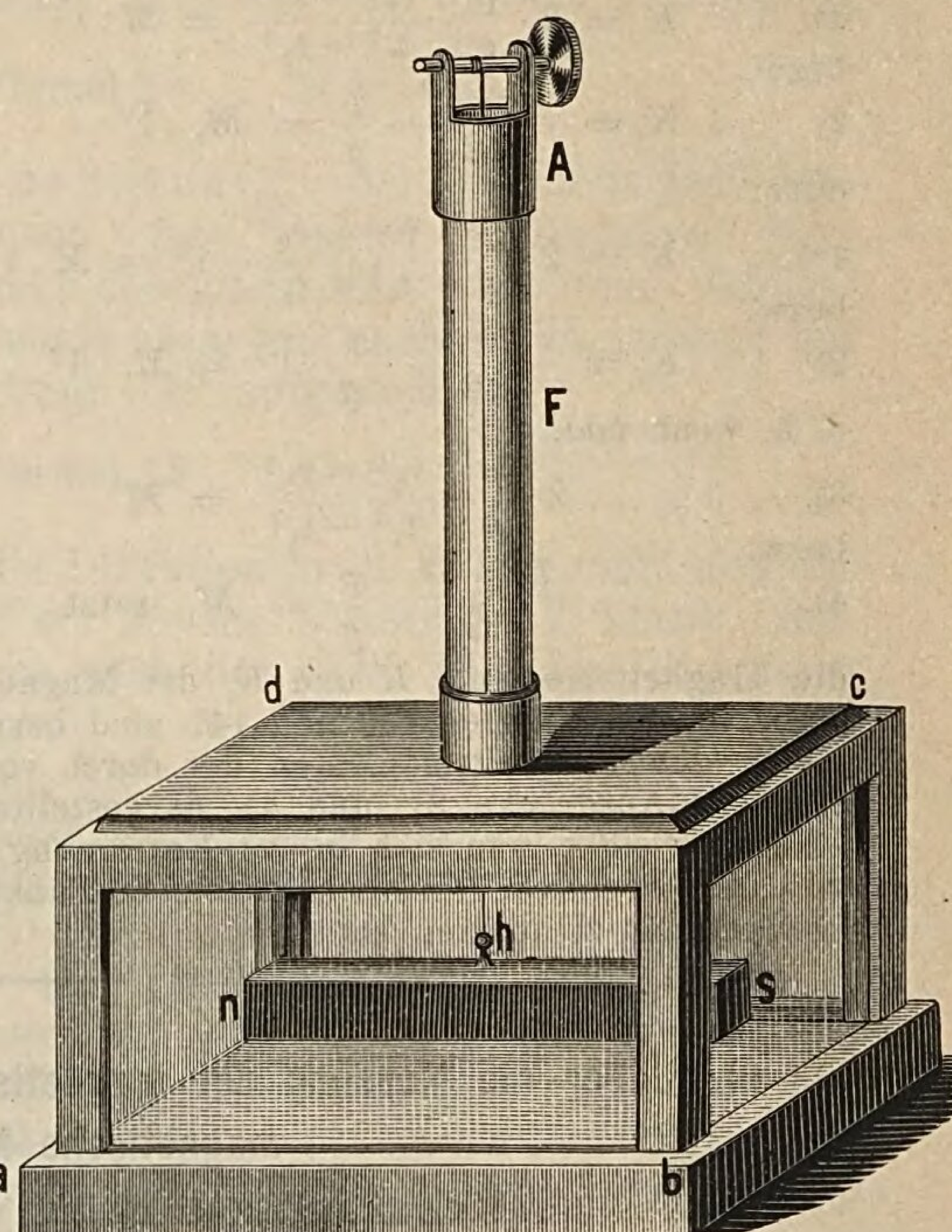
Erkl. 464. Den durch die Figur 141 dargestellten Apparat benutzte *Weber* zu seinen Intensitätsmessungen des Erdmagnetismus.

Ausführliches über die *W. Weber*schen Experimente findet man in den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins zu Göttingen, Bd. I.

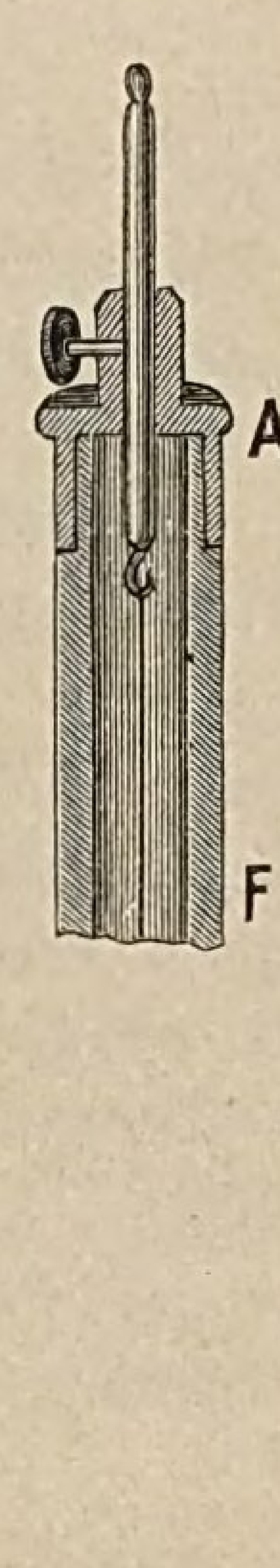
Erkl. 465. Um sich über die Bedeutung des Trägheitsmoments, bezw. über den mittels der Formeln 18 und 19 für K gefundenen Wert Aufschluss zu geben, beachte man folgendes:

Denkt man sich in der Entfernung 1 von der Drehaxe die allgemein durch M bezeich-

Figur 141.



Figur 142.



nete Masse des Körpers (Magnetstabs etc.) in einem Punkte konzentriert, so wäre das Trägheitsmoment dieses Körpers nach der Erkl. 449 $= M . 1^2$, mithin wäre nach den Formeln 18 und 19 für die betreffenden Magnetstäbe:

1). . . $K = 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2} = M . 1^2$

bezw.

2). . . $K_1 = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g} = M_1 . 1^2$

oder:

1a). . . $K = 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2} \cdot 1^2 = M . 1^2$

bezw.

2a). . . $K_1 = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g} \cdot 1^2 = M_1 . 1^2$

d. h. wenn man

3). $2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_1^2} = M$

bezw.

4). $\frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g} = M_1$ setzt:

die Trägheitsmomente K und K_1 der Magnetstäbe in den Figuren 140 und 141 sind bezw. gleich den Trägheitsmomenten der durch vorstehende Ausdrücke 3). und 4). dargestellten Massen, welche man sich in der Entfernung 1 von der Drehaxe derselben in einem Punkte konzentriert zu denken hat.

k). Ueber die Messung der magnetischen Kraft eines Magnetstabs durch das magnetische Moment desselben.

(Messung nach relativem und absolutem Mass.)

Frage 170. Auf welche Weise kann nach vorstehendem die magnetische Kraft eines Magnetstabs, bezw. das magnetische Moment desselben bestimmt werden?

Antwort. Nach Antwort der Frage 163, Seite 167, wird die magnetische Kraft eines Magnetstabs durch dessen magnetisches Moment M gemessen, indem die Wirkung eines Magnetstabs nach aussen, proportional (siehe Erkl. 436) seinem magnetischen Moment ist.

Die Grösse des magnetischen Moments eines Magnetstabs kann nunmehr nach den Antworten der Fragen 165 und 166, bezw. nach den denselben beigefügten Erkl. 443 und 446, entweder durch Vergleichung mit dem magnetischen Moment M_1 eines andern, jenem sonst gleichen Magnetstab (also nach relativem Mass), mittels der Formeln:

Formel 12 $M : M_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha)$
(siehe Erkl. 443)

Formel 14 $M : M_1 = n^2 : n_1^2$
(siehe Erkl. 446)

bestimmt werden, oder sie kann nach der in Antwort der Frage 162 aufgestellten

Formel 7 . . $D = M . T$

bezw. nach der sich hieraus ergebenden

Formel 20 . . $M = \frac{D}{T}$

unabhängig vom magnetischen Moment eines andern Magnetstabs (also nach absolutem Mass) bestimmt werden, sobald man nur nach der in Antwort der Frage 167 aufgestellten

Formel 15 . . $D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$

die Direktionskraft D bestimmt und den Wert für die Konstante T kennt, welche nach der Erkl. 434 die Direktionskraft, bezw. das Drehungsmoment eines um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstabs bedeutet, der im Abstand 1 von der Drehaxe die Einheit des freien Magnetismus besitzt.

Zur Bestimmung der Grösse T, welche abhängig ist von der Grösse der Wirkung des Erdmagnetismus und von der als Einheit gewählten Menge des freien Magnetismus des Magnetstabs, bedarf es zunächst noch einiger der in in den folgenden Abschnitten enthaltenen weiteren Untersuchungen.

l). Ueber die Gesetze der Fernewirkung von Magneten aufeinander.

Frage 171. Was ist in bezug auf die Fernewirkung von Magneten aufeinander zu beachten?

Antwort. Bei der Fernewirkung von Magneten aufeinander ist zu beachten, dass jeder vollkommene Magnet zwei gleiche Mengen von getrennten entgegengesetzten Magnetismen, nämlich eine gewisse Menge sogenannten Nord- und eine gleiche Menge sogen. Südmagnetismus enthält, deren Wirkungen sich hauptsächlich in den beiden magnetischen Polen offenbaren, indem es keinen Magnet mit nur einem Pol gibt. Da ferner nach dem Gesetz der Polarität der Nordmagnetismus des einen Magnets anziehend auf den Südmagnetismus, und abstossend auf den Nordmagnetismus des andern

Magnets, der Südmagnetismus jenes Magnets aber auch abstossend auf den Südmagnetismus und anziehend auf den Nordmagnetismus des zweiten Magnets wirkt, so findet man die Gesamtwirkung zweier Magnete aufeinander, aus der Zusammensetzung, bezw. aus den Resultanten jener vier erwähnten Einzelwirkungen, und es ergibt sich hiernach, dass die Gesetze über die Gesamt- oder Totalwirkung zweier Magnete aufeinander aus den Gesetzen über die Fernewirkung von gleichnamigen, bezw. von ungleichnamigen aber getrennten Magnetismen, sogen. einfachen magnetischen Massen hergeleitet werden können (siehe Erkl. 466).

Erkl. 466. Da es keine einfach magnetische Massen, das sind solche, welche nur Nord- oder nur Südmagnetismus enthalten, gibt und auch nicht hergestellt werden können, so ist der in nebenstehender Antwort enthaltene Schluss eigentlich nicht ganz richtig und es müsste gerade umgekehrt, gezwungen dadurch, dass zum Experimentieren keine einfachen magnetischen Massen, sondern nur vollständige Magnete verwendet werden können, von der Totalwirkung zweier Magnete aufeiander auf die Einzelwirkung der entgegengesetzten Magnetismen (der Pole) aufeinander geschlossen werden, wie es auch in sehr richtiger Weise *Gauss* that. In der Antwort der Frage 173 wird jedoch gezeigt, dass dies annähernd dennoch geschehen kann.

α). Ueber die Gesetze der Fernewirkung zweier gleichnamiger oder ungleichnamiger Magnetismen (einfacher magnetischer Massen) aufeinander.

Frage 172. Wie heissen die Gesetze über die Fernewirkung zweier gleichnamiger, bezw. ungleichnamiger Magnetismen (einfacher magnetischer Massen) aufeinander?

Antwort. Die Gesetze über die Fernewirkung zweier gleichnamiger, bezw. ungleichnamiger Magnetismen (einfacher magnetischer Massen) aufeinander heissen:

1). „Die Intensität der Anziehung entgegengesetzter, bezw. die Intensität der Abstossung gleichnamiger Magnetismen ist dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional“ (siehe Erkl. 436 und 467);

2). „Die Intensität der Anziehung entgegengesetzter, bezw. die Intensität der Abstossung gleichnamiger Magnetismen ist dem Produkt der wirkenden Mengen jener Magnetismen direkt proportional.“

Diese Gesetze zusammengefasst heissen:

„Die Anziehung entgegengesetzter, bezw. die Abstossung gleichnamiger magnetischer (auch elektrischer, siehe Erkl. 469) Fluida ist dem Produkt der wirkenden

Erkl. 467. Nebenstehendes Gesetz 1). lässt sich auch in den Worten fassen:
„Die abstossende Kraft zweier gleichnamiger Magnetismen, bezw. die anziehende Kraft zweier entgegengesetzter Magnetismen nimmt in demselben Verhältnis ab, in welchem die Quadrate ihrer Entfernungen wachsen“ (siehe Erkl. 436).

Erkl. 468. Das Gravitationsgesetz: „Die Anziehung, welche zwei Körper aufeinander ausüben, ist ihren Massen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional“ (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik) war der Grund, warum man schon lange ein ähnliches Gesetz auch bei der Anziehung magnetischer Massen vermutete, bis es *Coulomb* im Jahre 1785 gelang, das Bestehen dieses Gesetzes mittels der in der nachstehenden Antwort angegebenen Verfahren nachzuweisen. Siehe *Coulomb*, Mémoires de l'Academie 1785. Später versuchten noch *Lambert* (Hist. de l'Acad. Roy. de Berlin 1765), *Hansteen* (Untersuch. üb. d. Magnetismus d. Erde 1819), *Scoresby* (New. Edinb. pl. J. No. 24) u. a. jenes Gesetz schärfer nachzuweisen, was jedoch erst *Gauss* im Jahre 1833 auf indirektem Wege gelang.

Erkl. 469. Das nebenstehende Fundamentalgesetz des Magnetismus gilt auch, wie später

gezeigt wird (siehe Kleyers Lehrbücher über die Elektrizitätslehren), für die elektrischen Fluida.

Erkl. 470. Bezeichnet man die Intensität der Anziehung (bezw. der Abstossung) zweier in der Entfernung r aufeinander wirkenden magnetischen gleichnamigen (bezw. ungleichnamigen) Massen m und m_1 mit p (bezw. mit $-p$), und nach dem nebenstehenden Gesetz 2). die Intensität der Anziehung dieser Massen m und m_1 aus der Entfernung „1“ mit $m \,.\, m_1$, so hat man nach nebenstehendem Gesetz 1). die Relation:

$p : m \,.\, m_1 = 1^2 : r^2$ (bezw. $-p : m \,.\, m_1 = 1^2 : r^2$)

und hieraus erhält man für die Intensität p der Anziehung (bezw. der Abstossung) zweier magnetischer Massen m und m_1 aus der Entfernung r die

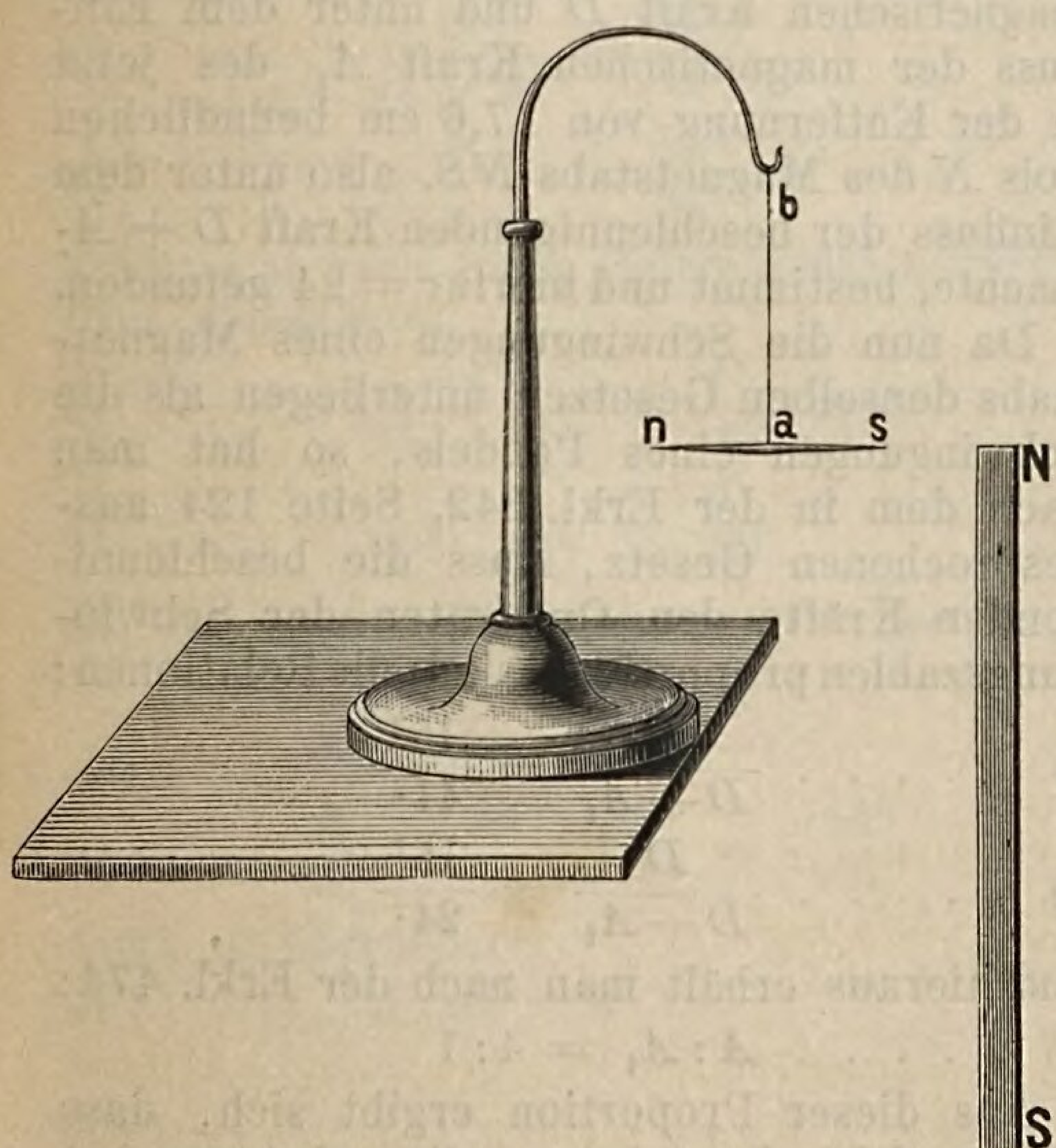
Mengen direkt und dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional.“

Die beiden Gesetze in dieser Form zusammen ausgesprochen nennt man: „Das Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung magnetischer Massen.“

Formel 21 $$p = \frac{m \,.\, m_1}{r^2} \quad \left(\text{bezw. } p = -\frac{m \,.\, m_1}{r^2}\right)$$

Frage 173. Wie wird das in vorstehender Antwort ausgesprochene Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung magnetischer Massen aufeinander aus der Ferne, experimentell bewiesen?

Figur 143.



Antwort. Das in vorstehender Antwort ausgesprochene Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung magnetischer Massen kann streng genommen, und wie *Gauss* es auch that, nur aus den Gesetzen der Fernewirkung vollständiger Magnete aufeinander, also nur indirekt abgeleitet werden, indem man sich bei den hierzu erforderlichen Experimenten keiner magnetischen Masse bedienen kann, die nur einen der entgegengesetzten Magnetismen, also nur Nord- oder nur Südmagnetismus enthält, weil es keine solche gibt und auch keine solche hergestellt werden kann.

Da jedoch bei langen und dünnen Magnetstäben, siehe die Antworten der Fragen 154 u. 160 und die Erkl. 430, die entgegengesetzten Magnetismen vollständig getrennt und in den Enden des Stabs wirkend gedacht werden können, so lassen sich mit Benutzung solcher Magnetstäbe jene Gesetze auch direkt, wenn auch nur angenähert beweisen. Die ersten diesbezüglichen Experimente wurden von *Coulomb* angestellt, indem er zur Begründung jener Gesetze die zwei schon mehrmals erwähnten Methoden: a). die Schwingungsmethode und b). die Torsionsmethode anwandte.

Bei Anwendung der Schwingungsmethode zum Nachweis jenes Gesetzes verfuhr *Coulomb* im allgemeinen wie folgt:

Eine kleine Magnetnadel ns, siehe Figur 143, wurde an einem ungedrehten Seidenfaden ab so aufgehängt, dass sie sich in horizontaler Ebene frei bewegen konnte und

Erkl. 471. In betreff der in nebenstehender Antwort angegebenen Entfernung von 8,8 cm sei bemerkt, dass dies die auf cm reduzierte Entfernung von 4 Zoll ist, welche *Coulomb* bei seinen Experimenten annahm.

Erkl. 472. Da der Magnetstab NS, siehe Figur 143, im Verhältnis zur Magnetnadel ns sehr gross gewählt wurde, so kann die Wirkung des Pols S auf die Magnetnadel vernachlässigt werden.

Erkl. 473. Mittels der Methode der Schwingungen kann man auch das in Antwort der Frage 172 unter 1). aufgestellte Gesetz wie folgt herleiten.

Bezeichnet man die magnetische Kraft des Nordpols N des im magnetischen Meridian der Nadel ns befindlichen Magnetstabs NS mit A, so wird die Magnetnadel ns nicht allein durch die Direktionskraft D, sondern auch noch durch die magnetische Kraft A, mithin durch die Kraft $D + A$ in dem magnetischen Meridian zurückgehalten.

Da nun nach der in Antw. der Frage 167 aufgestellten Gleichung 1). für die Schwingungsdauer t vor der Annäherung des Magnetstabs NS die Relation:

a). $t = \pi \cdot \sqrt{\frac{K}{D}}$

und für die Schwingungsdauer t_1 nach der Annäherung des Magnetstabs NS die Relation:

b). $t_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{K}{D+A}}$

besteht und nach der Erkl. 343, Seite 125:

c). $t : t_1 = n_1 : n$

gesetzt werden kann, so erhält man aus diesen drei Gleichungen der Reihe nach:

$$\frac{t}{t_1} = \sqrt{\frac{K}{D} \cdot \frac{D+A}{K}} = \sqrt{\frac{D+A}{D}}$$

$$\frac{n_1}{n} = \sqrt{\frac{D+A}{D}}$$

$$\frac{n_1^2}{n^2} = \frac{D+A}{D}$$

$$D \cdot n_1^2 = D \cdot n^2 + A \cdot n^2$$

$$A \cdot n^2 = D \cdot n_1^2 - D \cdot n^2 = D\,(n_1^2 - n^2)$$

oder:

Formel 4 . . $A = D \cdot \frac{n_1^2 - n^2}{n^2}$ (siehe Formel 4 in der Erkl. 405)

Beobachtet man nun, analog wie *Coulomb* es that, die Anzahl n der Schwingungen und findet $= 15$, dann die Anzahl n_1 der Schwingungen, welche sie in einer bestimmten Zeit, pro Minute, nur unter dem Einfluss der beschleunigenden erdmagnetischen Kraft D machte, bestimmt, dafür $= 15$ gefunden, und die Nadel in Ruhe gebracht. Dann wurde in der Entfernung von 8,8 cm (siehe Erkl. 471) dem einen Pol s der kleinen Magnetnadel ns der Pol N eines langen aber stark magnetisierten Magnetstabs NS, wie die Figur 143 zeigt, so genähert, dass sich die magnetische Axe desselben in der vertikalen Ebene des magnetischen Meridians der Nadel, gleichzeitig aber auch in vertikaler Lage befand, und die Anzahl n_1 der Schwingungen der Nadel bestimmt, welche sie nunmehr unter dem Einfluss der erdmagnetischen Kraft D und unter dem Einfluss der magnetischen Kraft A des in der Entfernung von 8,8 cm befindlichen Pols N (siehe Erkl. 472) des Magnetstabs NS, also unter dem Einfluss der beschleunigenden Kraft $D + A$ machte, bestimmt und hierfür $= 41$ gefunden.

Hierauf wurde der Pol N des Magnetstabs NS in der doppelten Entfernung von 8,8 cm, also in der Entfernung von 17,6 cm in gleicher Weise wie vorher der Magnetnadel genähert und die Anzahl n_2 der Schwingungen der Nadel bestimmt, welche sie nunmehr unter dem Einfluss der erdmagnetischen Kraft D und unter dem Einfluss der magnetischen Kraft A_1 des jetzt in der Entfernung von 17,6 cm befindlichen Pols N des Magnetstabs NS, also unter dem Einfluss der beschleunigenden Kraft $D + A_1$ machte, bestimmt und hierfür $= 24$ gefunden.

Da nun die Schwingungen eines Magnetstabs denselben Gesetzen unterliegen als die Schwingungen eines Pendels, so hat man nach dem in der Erkl. 342, Seite 124 ausgesprochenen Gesetz, dass die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen proportional sind, die Relationen:

a). $\frac{D}{D + A_1} = \frac{15^2}{41^2}$

b). $\frac{D}{D + A_1} = \frac{15^2}{24^2}$

und hieraus erhält man nach der Erkl. 474:

c). $A : A_1 = 4 : 1$

Aus dieser Proportion ergibt sich, dass die anziehende (ebenso die abstossende) Kraft des Magnetstabs in der doppelten Entfernung von 8,8 cm viermal schwächer ist als in der Entfernung von 8,8 cm, dass sie also mit dem Quadrat der Entfernung

gungen, wenn der Magnetstab z. B. in der Entfernung von 10 cm von der Nadel entfernt ist und findet = 41, so erhält man nach dieser Formel:

$$\alpha).\ \ldots\ A = D \cdot \frac{41^2 - 15^2}{15^2}$$

Beobachtet man ferner die Anzahl n_2 der Schwingungen, wenn der Magnetstab in der doppelten Entfernung wie vorhin, also in der Entfernung von 2 . 10 = 20 cm von der Nadel entfernt ist, und findet = 24, so erhält man nach vorstehender Formel für die Grösse A_1 dieser Anziehung, bezw. Abstossung:

$$\beta).\ \ldots\ A_1 = D \cdot \frac{24^2 - 15^2}{15^2}$$

Aus beiden Gleichungen α). und β). ergibt sich durch Division:

$$\frac{A}{A_2} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351}$$

oder angenähert:

$$\doteq A : A_1 = 4 : 1$$

nämlich dasselbe Resultat wie in nebenstehender Gleichung c).

Erkl. 474. Aus den umstehenden Gleichungen:

$$a).\ \ldots\ \frac{D}{D + A} = \frac{15^2}{41^2}$$

$$b).\ \ldots\ \frac{D}{D + A_1} = \frac{15^2}{24^2}$$

erhält man nach einem Differenzensatz aus der Proportionslehre:

$$c).\ \ldots\ \frac{-A}{15^2 - 41^2} = \frac{D}{15^2} \text{ und}$$

$$d).\ \ldots\ \frac{-A_1}{15^2 - 24^2} = \frac{D}{15^2}$$

und aus diesen Gleichungen ergibt sich:

$$\frac{A}{41^2 - 15^2} = \frac{A_1}{24^2 - 15^2}$$

oder:

$$\frac{A}{A_1} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351}$$

somit ist angenähert:

$$e).\ \ldots\ A : A_1 = 4 : 1$$

abnimmt, was in dem in voriger Antwort unter 1). aufgestellten Gesetze ausgedrückt ist (siehe die Erkl. 436).

Um auch nach dieser Methode das in voriger Antwort unter 2). aufgestellte Gesetz nachzuweisen, beachte man, dass die Menge oder Stärke des Magnetismus einer magnetischen Masse lediglich nur nach ihrer Kraftäusserung beurteilt wird, dass somit die Kraft der Menge des freien Magnetismus der beiden aufeinander wirkenden magnetischen Massen proportional ist, was wie folgt bewiesen werden kann:

Ein langer dünner Magnetstab, siehe Figur 143, wird magnetisiert, in eine gewisse Entfernung von der Nadel *ns* gebracht und die Schwingungszahl n bestimmt; dann wird derselbe Magnetstab stärker magnetisiert, in dieselbe Entfernung von der Nadel *ns* gebracht und die Schwingungszahl n_1 bestimmt; dann wird abermals derselbe Magnetstab noch stärker magnetisiert, in dieselbe Entfernung von der Nadel *ns* gebracht und die Schwingungszahl n_2 bestimmt. Aus den somit bestimmten Schwingungszahlen kann man nunmehr nach der in Antwort der Frage 170 erwähnten Formel 14:

$$M : M_1 = n^2 : n_1^2$$

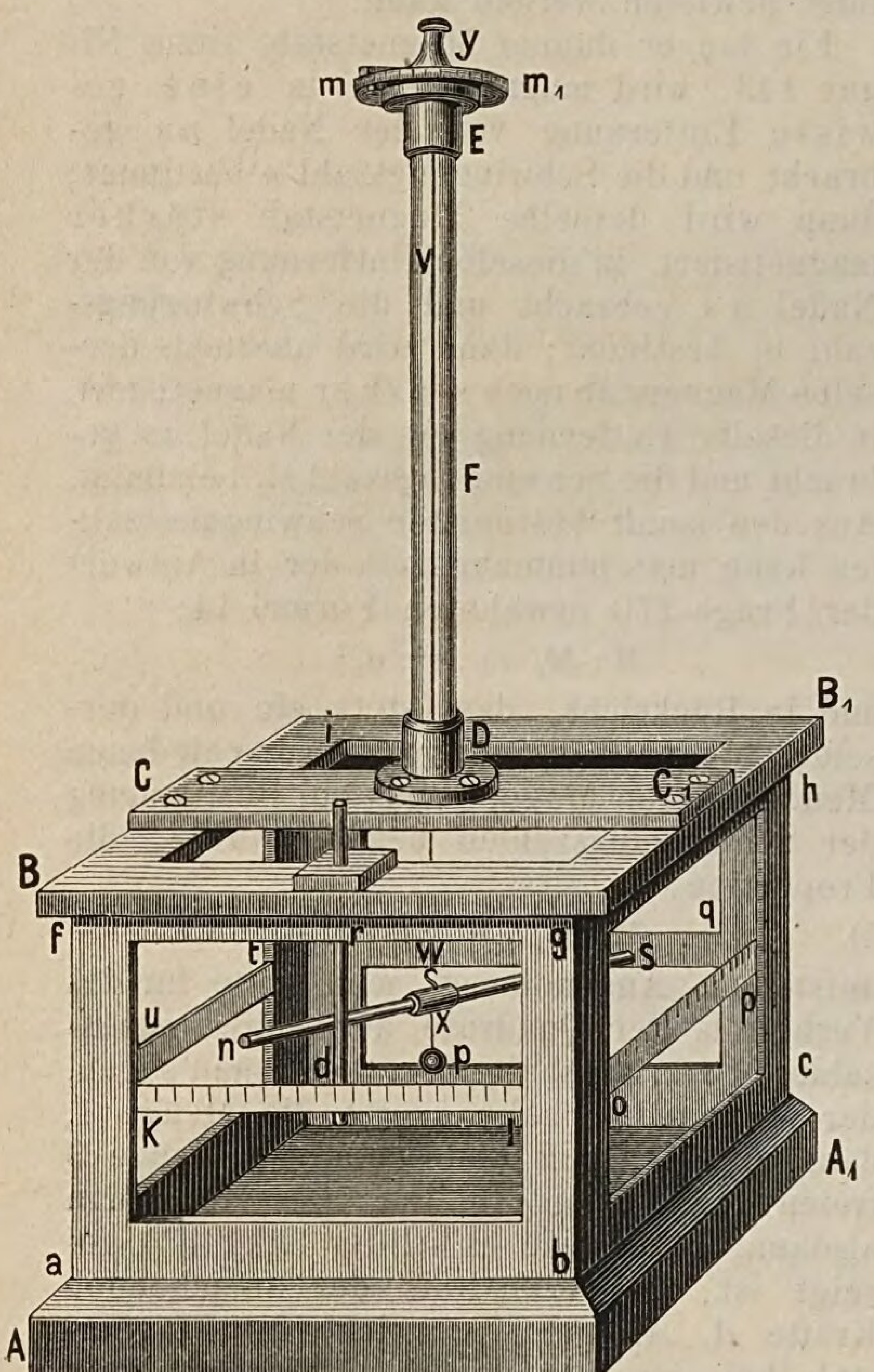
und in Rücksicht, dass stets ein und derselbe Magnetstab nur mit verschiedenen Mengen freien Magnetismus bei Bestimmung der Schwingungszahlen benutzt wurde, die Proportion:

$$1).\ \ldots\ M : M_1 : M_2 = n^2 : n_1^2 : n_2^2$$

aufstellen. Angenommen, man hätte für das Verhältnis der Quadrate der Schwingungszahlen 1 : 2 : 3 erhalten, so kann man sagen, der Magnetstab habe zuerst die Menge 1, dann die Menge 2 und dann die Menge 3 freien Magnetismus erhalten. Berechnet man alsdann, analog wie es in der Erkl. 473 gezeigt ist, das Verhältnis der anziehenden Kräfte A, A_1 und A_2, welche der Magnetstab bei den verschiedenen ihm erteilten Mengen 1, 2, 3 freien Magnetismus auf die Nadel ausübte, so findet man, dass auch dieses Verhältnis jenem ersten gefundenen gleich, also auch = 1 : 2 : 3 ist, woraus sich ergibt, dass die Intensitäten der Anziehung den wirkenden Mengen direkt proportional sind. Wählt man ferner statt der Nadel *ns*, siehe Figur 143, eine gleiche Nadel, welche die doppelte Menge, und noch eine weitere gleiche Nadel, welche die dreifache Menge freien Magnetismus als die erste Nadel enthält, so wird man auf analoge Weise finden, dass im

ersten Falle das Verhältnis zu den Anziehungskräften A, A_1 und A_2 doppelt so gross, nämlich = 2 : 4 : 6, im zweiten Falle dreifach so gross, nämlich = 3 : 6 : 9, als das ursprüngliche Verhältnis 1 : 2 : 3 ist. Hieraus ergibt sich, dass die Intensität der magnetischen Anziehung (bezw. Abstossung) dem Produkte $m \cdot m_1$ der Mengen m und m_1 des freien Magnetismus proportional ist.

Figur 144.



Bei der Methode mittels der Torsion des Aufhängefadens in der Drehwage verfuhr *Coulomb* im allgemeinen wie folgt:

In der Drehwage, siehe Figur 144, wurde an dem Aufhängedraht vw ein circa 60 cm langer und 1 – 2 mm dicker, möglichst stark magnetisierter Magnetstab horizontal aufgehängt und mittels eines Versuchs die Torsion bestimmt, welche nötig ist, um den Magnetstab um 1° aus dem magnetischen Meridian abzulenken; man fand, dass hierzu eine Torsion des Drahts von 35° erforderlich war.

Dann wurde ein zweiter solcher Magnetstab rd in vertikaler Richtung von oben in den Kasten der Drehwage geschoben und zwar so, dass der untere Pol d derselben in derselben Höhe und dicht bei dem Pol n des Magnetstabs ns zu stehen kam, und dass er letzteren als einen ihm gleichnamigen Pol abstiess. Infolge der Länge der beiden dünnen Magnetstäbe kann man nun die Wirkung der Pole n und d aufeinander gleichachten mit der Wirkung zweier getrennten entgegengesetzten Magnetismen aufeinander.

Bei der Annäherung des Pols d an den Pol n wurde der Magnetstab ns abgestossen (vorausgesetzt, dass ersterer ein mit letzterem gleichnamiger Pol war) und nahm eine solche Gleichgewichtslage an, in welcher der Magnetstab ns einen Winkel von 24° mit dem magnetischen Meridian bildete. Durch die Grösse dieser Ablenkung von 24° ist zugleich auch die Entfernung der beiden Pole d und n in Bogengraden ausgedrückt. In dieser Gleichgewichtslage sind es nunmehr 2 Kräfte, welche den Stab in seine frühere Gleichgewichtslage, bezw. in den magnetischen Meridian zurückzuführen suchen, nämlich die Direktionskraft und die Torsionskraft des um 24° tordierten Aufhängedrahts. Die Wirkung beider Kräfte in die Torsionskraft des Drahts ausgedrückt ist nach der Erkl. 476 gleich einer Torsion des Drahts von 864°, und diese Wirkung ist gleich der Wirkung der abstossenden Kraft

Erkl. 475. Würde man das Verhältnis der Stärke der magnetischen Anziehung, bezw. Abstossung auch für die dreifache und vierfache Entfernung von 8,8 cm auf diese Weise bestimmen wollen, so werden die somit gefundenen weiteren Verhältniszahlen nicht mehr so genau jenes Gesetz darstellen, wie es bis zur zweifachen Entfernung von 8,8 cm aufgefunden wurde; was seinen Grund darin hat, weil sich bei grösseren Entfernungen des Magnetstabs NS die Wirkung des andern Pols S geltend macht und alsdann in Betracht gezogen werden müsste. Für solche Fälle muss man deshalb den Magnetstab NS noch viel länger wählen oder die erste Entfernung, welche *Coulomb* mit 8,8 cm annahm, bedeutend verkürzen.

Erkl. 476. Um den Magnetstab ns um 1^0 aus dem magnetischen Meridian abzulenken, bedurfte es nach der vorher angestellten Untersuchung einer Torsion des Aufhängedrahts von 35^0; um den Magnetstab ns um 24^0 abzulenken, bedarf es somit einer Torsion des Fadens von $24 . 35^0$, und man kann die Direktionskraft, welche den um 24^0 abgelenkten Magnetstab in den Meridian zurückzuführen bestrebt ist, gleich der Torsionskraft des um $24 . 35^0$ tordierten Fadens setzen. Da ferner aber auch infolge der Ablenkung des Magnetstabs um 24^0 der Faden bereits um 24^0 tordiert ist, so ist die Summe der Kräfte, welche den um 24^0 abgelenkten Magnetstab in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, in die Torsionskraft des Aufhängedrahts ausgedrückt, gleich der Torsionskraft des um $(24 . 35^0 + 24^0)$ tordierten Aufhängedrahts.

des Pols d, jene also ein Mass der letzteren. Dann wurde durch eine Torsion des Aufhängedrahts um drei ganze Umdrehungen, also um $3 . 360^0$ der abgelenkte Pol n dem festen Pol d genähert, wobei sich ergab, dass hierdurch der Pol n dem Pol d sich bis auf 17 Bogengrade genähert hatte.

Für die abstossende Kraft des Pols d in dieser Gleichgewichtslage des Magnetstabs ns fand man, analog wie vorhin und analog der Erkl. 476, als Mass derselben eine Torsion des Aufhängedrahts von:

$$17 . 35^0 + 3 . 360^0 + 17^0 = 1692^0$$

Schliesslich wurde durch eine Torsion des Drahts um acht ganze Umdrehungen, also um $8 . 360^0$ der soweit abgelenkte Pol n dem festen Pol d wiederum genähert, wobei sich ergab, dass sich hierdurch der Pol n dem Pol d bis auf 12 Bogengrade genähert hatte. Für die abstossende Kraft des Pols d in dieser Gleichgewichtslage des Magnetstabs ns fand man, analog wie vorhin und analog der Erkl. 476, als Mass derselben eine Torsion des Aufhängedrahts von:

$$12 . 35^0 + 8 . 360^0 + 12 = 3312^0$$

Da nun das Verhältnis $24:17:12$ der sich aus diesen Versuchen ergebenden und in Bogengraden ausgedrückten Entfernungen 24, 17 und 12 der beiden Pole n und d durch Division mit 12 einfacher ausdrücken lässt durch das Verhältnis

$$2 : 1{,}416 : 1$$

mithin das Verhältnis der Quadrate dieser Entfernungen =

a). $4 : 2{,}005 : 1$

ist, und da ferner das Verhältnis der abstossenden Kräfte des Pols d in bezug auf den in den Entfernungen 24^0, 17^0 und 12^0 befindlichen Pol n durch das Verhältnis $864 : 1692 : 3312$ der bezüglichen Torsionen von 864^0, 1692^0 und 3312^0, bezw. durch das mittels Division von 864 hieraus abgeleitete einfachere angenäherte Verhältnis:

b). $1 : 2{,}005 : 4$

dargestellt werden kann, so ergibt sich aus der Bedeutung der unter a). und b). verzeichneten Verhältnisse die Richtigkeit des zu beweisenden Gesetzes, dass nämlich die Intensitäten, mit welcher sich zwei gleichnamige magnetische Massen abstossen, dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional sind. Für die Anziehung ungleichnamiger magnetischer Massen bewies *Coulomb* dieses Gesetz in analoger Weise.

β). Ueber das Gesetz der Fernewirkung zweier vollständigen Magnete aufeinander.

Frage 174. Wie heisst das Gesetz der Fernewirkung zweier vollständigen Magnete aufeinander?

Antwort. Das Gesetz der Fernewirkung zweier vollständigen Magnete aufeinander, heisst, unter der Voraussetzung, dass der eine Magnet im Verhältnis zur Entfernung seines Mittelpunktes von demjenigen des andern Magnets sehr klein ist, oder dass die Pole des kleinen Magnets sehr nahe dem Mittelpunkt desselben zu liegen:

„Die totale Fernewirkung eines Magnets auf einen andern ist nahe umgekehrt proportional der dritten Potenz der Entfernung.“

Erkl. 477. Bezeichnet man die Intensität der Anziehung (bezw. der Abstossung) zweier in der Entfernung r aufeinander wirkender Magnete, von welchen der eine im Verhältnis zur Entfernung r vom andern sehr klein ist, mit p (bezw. mit $-p$), die Intensität der Anziehung der in den Polen der Magnete angehäuft gedachten Mengen m und m_1 freien Magnetismus aus der Entfernung 1 mit $m \,.\, m_1$ [siehe das in Antwort der Frage 172 aufgestellte Gesetz 2).], so hat man nach nebenstehendem Gesetz die Relation:

$$p : m \,.\, m_1 = 1^3 : r^3$$

$$(\text{bezw. } -p : m \,.\, m_1 = 1^3 : r^3)$$

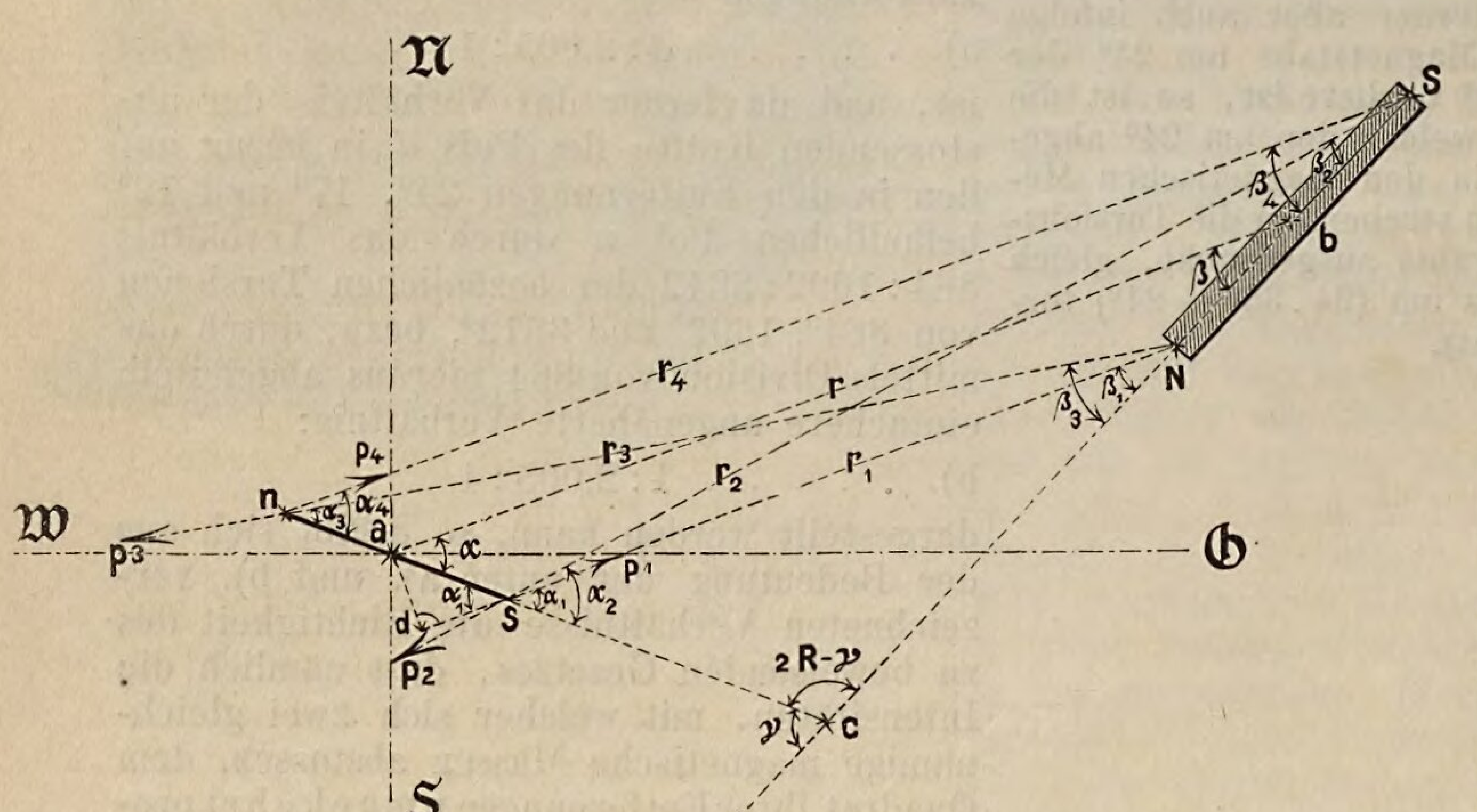
und hieraus erhält man für die Intensität p die

Formel 22 $$p = \frac{m \,.\, m_1}{r^3} \quad \left(\text{bezw. } p = -\frac{m \,.\, m_1}{r^3}\right)$$

Frage 175. Auf welche Weise lässt sich das Gesetz der Fernewirkung zweier vollständiger Magnete aufeinander herleiten?

Antwort. Das Gesetz der Fernewirkung zweier vollständigen Magnete aufeinander wurde auf mancherlei Arten herzuleiten gesucht (siehe Erkl. 468). Die allgemeinste und beste Ableitung ist diejenige von *Gauss*, aus deren Grundzügen die folgende Entwickelung entnommen ist.

Figur 145.



Angenommen es sei ns, siehe Figur 145, eine um ihre Mitte a horizontal bewegliche Magnetnadel, und es sei ferner NS ein in derselben Horizontalebene liegender kräftiger Magnetstab, der im übrigen eine beliebige Lage zu jener Magnetnadel hat.

Ist nun der Magnet NS so kräftig magnetisiert, dass er in der betreffenden Entfernung eine Wirkung auf die

Magnetnadel ausüben kann, oder ist die Entfernung beider Magnete entsprechend so gewählt, dass eine solche Wirkung möglich ist, so erleidet jeder der Pole n und s der Magnetnadel ns, nach dem Gesetz der Polarität, durch die Pole N und S des Magnetstabs NS die Wirkung einer anziehenden und abstossenden Kraft, wie in der Figur 145 durch die Pfeile sp_1, sp_2, np_3 und np_4 graphisch angedeutet ist, infolgedessen die Magnetnadel ns eine ganz bestimmte Gleichgewichtslage annehmen wird.

Bei dieser Gleichgewichtslage lassen sich nunmehr in bezug auf die Wirkung der vier, durch die Pfeile p_1, p_2, p_3, p_4 angedeuteten Kräfte zwei Relationen aufstellen. Der Sinn der einen dieser Relationen besteht darin, dass in einer solchen Gleichgewichtslage der Nadel, ohne Rücksicht auf die erdmagnetische Kraft, die statischen oder Drehungsmomente der vier Kräfte sich aufheben müssen, dass also deren algebraische Summe = 0 sein muss [siehe nachstehende Gleichung 1).]; der Sinn der andern dieser Relationen besteht darin, dass mit Rücksicht der erdmagnetischen Kraft die algebraische Summe der Drehungsmomente der vier Kräfte gleich dem Drehungsmoment sein muss, mit welchem die magnetische Erdkraft, bezw. die Direktionskraft der Nadel letztere in den magnetischen Meridian 𝔑𝔖 zurückzuführen sucht.

Diese beiden Relationen findet man wie folgt:

Bezeichnet man die Kraft, mit welcher der Pol N den Pol s in der Entfernung „1“ anzieht mit $m \cdot m_1$, wobei m die gedachte Menge freien Magnetismus in einem Pol des Magnetstabs, m_1 die gedachte Menge freien Magnetismus in einem Pol der Magnetnadel bedeutet [siehe Gesetz 2). in Antwort der Frage 172]; die Kraft, mit welcher der Pol N den Pol n aus der Entfernung „1“ abstösst dementsprechend mit: $-m \cdot m_1$; also auch die Kraft, mit welcher der Pol S (derselbe ist bei gleichmässigen Magneten an magnetischer Intensität, wie sie vorausgesetzt werden, gleich dem

Erkl. 478. Bei allen Untersuchungen werden gleichmässig magnetisierte Magnete, mithin auch in den Polen gleiche (aber entgegengesetzte) magnetische Kräfte vorausgesetzt.

Bezeichnet man deshalb die Kraft, mit welcher der Pol N den Pol s, siehe Figur 145, in der Entfernung „1“ anzieht, mit $m \cdot m_1$ (siehe Erkl. 470), so ist die Grösse der Kraft, mit welcher der Pol N den Pol n abstösst, bezw. mit welcher der Pol S den Pol s abstösst und den Pol n anzieht, ebenfalls $= m \cdot m_1$. Zur Unterscheidung, dass dieselbe Kraft einmal eine anziehende, ein andermal in derselben Richtung eine abstossende ist, gibt man jenem Produkte das entsprechende Vorzeichen $+$ oder $-$.

Erkl. 479. Ist die Intensität der Anziehung (bezw. der Abstossung) zweier gleichnamiger (bezw. zweier ungleichnamiger) magnetischer Massen aus der Entfernung „1“ $= m \cdot m_1$ (siehe Erkl. 470) und in der Entfernung $r_1 = p_1$, so hat man nach dem in Antwort der Frage 172 aufgestellten Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung magnetischer Massen, die Relation:

$$p_1 : m \cdot m_1 = 1^2 : r^2$$

und hieraus erhält man:

a). $p_1 = \frac{m \cdot m_1}{r^2}$ (siehe Erkl. 470)

Pol N) aus der Entfernung „1“ den Pol n anzieht, mit: $m.m_1$, und analog die Kraft, mit welcher der Pol S aus der Entfernung „1“ den Pol s abstösst, mit: $-m.m_1$; bezeichnet man ferner die Entfernungen der Pole N und S von den Polen s und n, wie in der Figur 145 angedeutet ist, bezw. durch: r_1, r_2, r_3 und r_4, so hat man unter Voraussetzung des in Antwort der Frage 172 aufgestellten Gesetzes und nach der Erkl. 479 für die Grössen der vier Kräfte p_1, p_2, p_3 und p_4 die Relationen:

$$\text{a)}.\;\ldots\;\left\{\begin{aligned} p_1 &= \frac{m.m_1}{r_1^{\,2}} \\ p_2 &= -\frac{m.m_1}{r_2^{\,2}} \\ p_3 &= -\frac{m.m_1}{r_3^{\,2}} \\ p_4 &= \frac{m.m_1}{r_4^{\,2}} \end{aligned}\right.$$

Bezeichnet man ferner die Winkel, welche die Richtungen der Kräfte p_1, p_2, p_3 und p_4 mit der magnetischen Axe der Magnetnadel ns bilden, bezw. durch α_1, α_2, α_3 und α_4 und die halbe Länge as ($= an$) der Magnetnadel ns mit l, so hat man nach der Erkl. 481 für die senkrechten Abstände der Richtungen der Kräfte p_1, p_2, p_3 und p_4 von dem Drehungspunkt a der Magnetnadel, der Reihe nach z. B. die Werte:

b). senkrechter Abstand der Kraft
- p_1 vom Drehungspunkt $a = l.\sin\alpha_1$
- p_2 „ „ $a = l.\sin\alpha_2$
- p_3 „ „ $a = l.\sin\alpha_3$
- p_4 „ „ $a = l.\sin\alpha_4$

Aus den unter a). und b). aufgestellten Beziehungen erhält man nach der Erkl. 418 für die statischen oder Drehungsmomente der Kräfte p_1, p_2, p_3 und p_4 bezw. die Werte:

$$\frac{m.m_1.l.\sin\alpha_1}{r_1^{\,2}},\quad -\frac{m.m_1.l.\sin\alpha_2}{r_2^{\,2}},$$
$$\frac{m.m_1.l.\sin\alpha_3}{r_3^{\,2}} \text{ und } -\frac{m.m_1.l.\sin\alpha_4}{r_4^{\,2}}$$

Für die Gleichgewichtslage der Magnetnadel ns muss nach vorausgegange-

Erkl. 480. *Gauss* setzte bei seiner allgemeinen Entwickelung des in nebenstehender Antwort zu entwickelnden Gesetzes das in Antwort der Frage 172 aufgestellte Gesetz der Anziehung und Abstossung einfacher magnetischer Massen nicht voraus, nahm aber die entsprechenden Hypothesen an, dass

1). zwei einfache magnetische Massen proportional ihrem Produkte aufeinander wirken; dass also, wenn m und m_1 zwei magnetische Massen in der Entfernung „1“ aufeinander wirken, das Mass ihrer Anziehung und Abstossung:

a). $= m.m_1$ (bezw. $= -m.m_1$)

ist (siehe Erkl. 470), und dass

2). wenn die Entfernung jener Massen m und m_1 $= r$ ist, die Anziehung und Abstossung:

b). $= \frac{m.m_1}{r^2}$ $\left(\text{bezw.} = -\frac{m.m_1}{r^2}\right)$

ist und bewies ganz allgemein mittels der nebenstehenden unter 1). und 2). aufgestellten Gleichungen, im Laufe seiner Entwickelung, dass diese Annahmen richtig waren.

Erkl. 481. Verlängert man in der Figur 145 z. B. Ns über s, und fällt von a die Senkrechte ad auf diese Verlängerung und beachtet, dass in dem bei d rechtwinkligen Dreieck ads der Winkel $dsa = \measuredangle csN$ also $= \alpha_1$ ist, so besteht die Relation:

$$\sin\alpha_1 = \frac{ad}{as}$$

Da as gleich der halben Länge l der Magnetnadel ns ist, so erhält man hieraus für den senkrechten Abstand ad der Kraft p_1 vom Drehungspunkte a:

$$ad = l.\sin\alpha_1$$

In analoger Weise findet man die senkrechten Abstände der übrigen Kräfte p_2, p_3 und p_4.

nem, und **ohne Rücksicht** der Wirkung der erdmagnetischen Kraft auf die Nadel, zwischen diesen Drehungsmomenten der Kräfte p_1, p_2, p_3 und p_4 die Relation bestehen:

$$\frac{m.m_1.l.sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{m.m_1.l.sin\alpha_2}{r_2^2} + \frac{m.m_1.l.sin\alpha_3}{r_3^2} - \frac{m.m_1.l.sin\alpha_4}{r_4^2} = 0$$

aus welcher man durch Division mit $m.m_1.l$ die Relation:

$$1). \quad \frac{sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{sin\alpha_2}{r_2^2} + \frac{sin\alpha_3}{r_3^2} - \frac{sin\alpha_4}{r_4^2} = 0$$

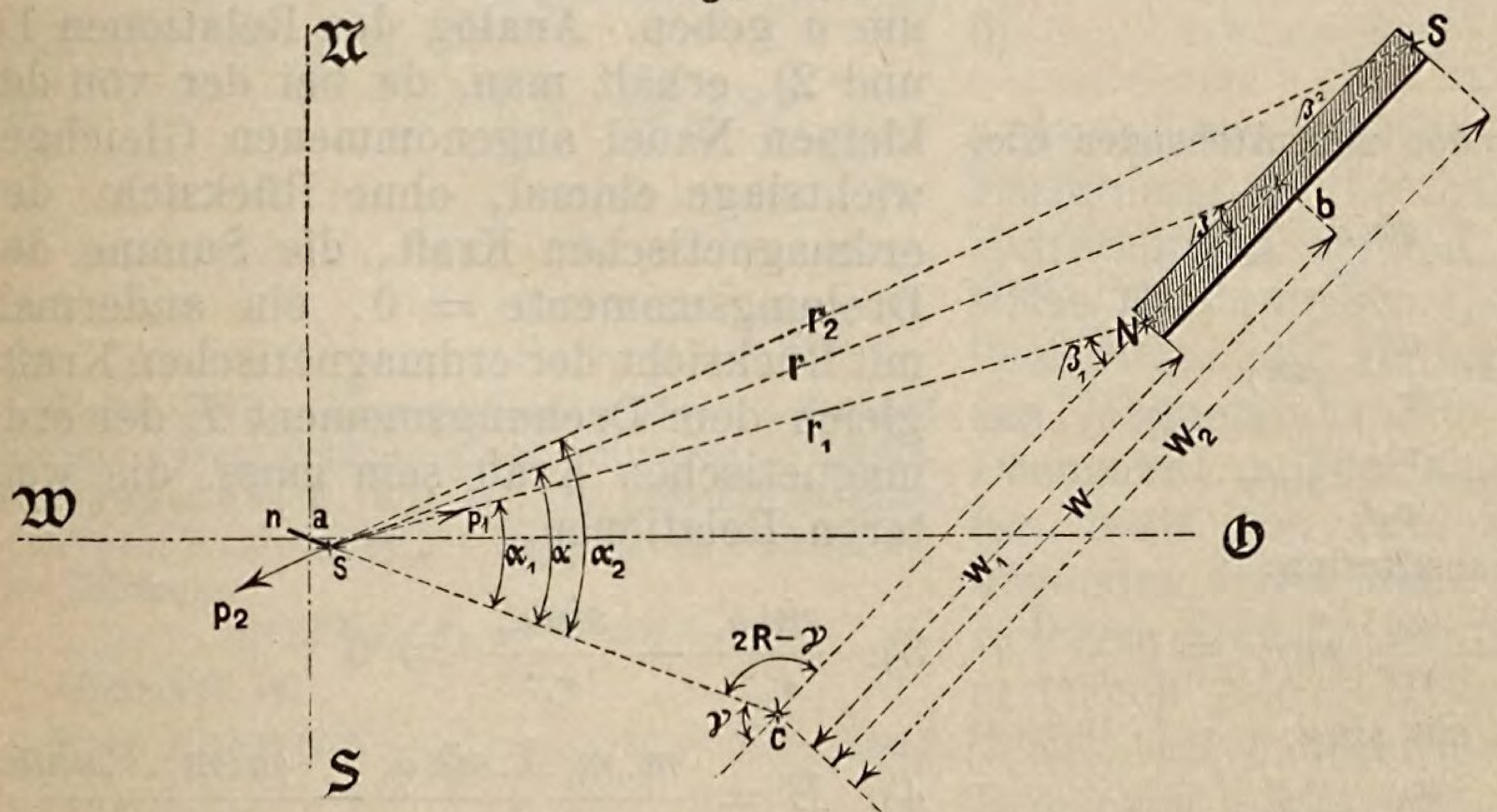
erhält.

Bezeichnet man ferner das Drehungsmoment der erdmagnetischen Kraft mit E, so hat man nach vorausgegangenem und **mit Rücksicht** der erdmagnetischen Kraft auf die Nadel, die weitere Relation:

$$2). \quad E = \frac{m.m_1.l.sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{m.m_1.l.sin\alpha_2}{r_2^2} + \frac{m.m_1.l.sin\alpha_3}{r_3^2} - \frac{m.m_1.l.sin\alpha_4}{r_4^2}$$

Aus der Relation 1). ergibt sich, dass die Stellung der Magnetnadel *ns* abhängig ist von den Entfernungen r_1, r_2, r_3, r_4 und von den Winkeln α_1, α_2, α_3 und α_4, dass sie also lediglich von der Grösse, Entfernung und Stellung des Magnets abhängt, aber **unabhängig** ist von der **Stärke** desselben, wenn von der magnetischen Wirkung der Erde **abgesehen** wird. Aus der Relation 2). ergibt sich die Grösse des Drehungsmoments der Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf die Magnetnadel *ns* wirkt (siehe Erkl. 480).

Figur 146.



Erkl. 482. Nach dem trigonometrischen Lehrsatze: „Die Seiten eines Dreiecks verhalten sich wie die Sinus der diesen Seiten gegenüberliegenden Winkel" hat man in den Dreiecken scN und scS, siehe Figur 146, bezw. die Relationen:

$$sin\alpha_1 : sin(2R - \gamma) = w_1 : r_1$$

und

$$sin\alpha_2 : sin(2R - \gamma) = w_2 : r_2$$

Mit Berücksichtigung der Erkl. 483 gehen diese Relationen über in:

$$sin\alpha_1 : sin\gamma = w_1 : r_1$$

$$sin\alpha_2 : sin\gamma = w_2 : r_2$$

aus welchen man erhält:

$$1). \quad sin\alpha_1 = \frac{w_1}{r_1} \cdot sin\gamma$$

und

$$2). \quad sin\alpha_2 = \frac{w_2}{r_2} \cdot sin\gamma$$

Erkl. 483. Ein goniometrischer Lehrsatz heisst: „Der Sinus eines stumpfen Winkels, bezeichnet durch $2R - \gamma$, ist gleich dem Sinus seines Supplementwinkels γ", in Zeichen:

$$sin(2R - \gamma) = sin\gamma$$

Erkl. 484. Aus den nebenstehenden Gleichungen:

$$3). \quad \frac{sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{sin\alpha_2}{r_2^2} = 0$$

$$c). \quad sin\alpha_1 = \frac{w_1}{r_1} \cdot sin\gamma$$

$$d). \quad sin\alpha_2 = \frac{w_2}{r_2} \cdot sin\gamma$$

erhält man durch Substitution:

$$\frac{w_1}{r_1^3} \cdot sin\gamma - \frac{w_2}{r_2^3} \cdot sin\gamma = 0$$

oder durch Division mit $sin\gamma$:

$$\frac{w_1}{r_1^3} - \frac{w_2}{r_2^3} = 0$$

und hieraus erhält man:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

Um hier nun rasch zum Ziele zu kommen und in der weiteren Entwickelung möglichst wenig der Grössen (r_1 bis r_4, α_1 bis α_4), von welchen die Stellung der Nadel abhängig ist, mitführen zu müssen, denke man sich zunächst die Nadel ns, siehe Figur 146, im Vergleiche mit den Entfernungen r_1 bis r_4 sehr klein, also die Pole n und s sehr nahe bei a liegend, in welchem Falle man die von N auf n und s wirkenden Kräfte p_1 und p_3, ebenso die von S auf n und s wirkenden Kräfte p_2 und p_4 bezw. als gleich betrachten kann, infolgedessen sich jene vier Kräfte p_1, p_2, p_3, p_4 auf zwei gleiche und entgegengesetzt wirkende Resultanten reduzieren lassen. Die Resultante der Kräfte p_3 und p_4, welche den Pol n nach aussen zieht, ist gleich der Resultanten der Kräfte p_1 und p_2, welche den Pol s nach innen zieht; somit ist die Wirkung des Magnets NS auf die Wirkung eines Kräftepaares zurückgeführt und es ist durch eine dieser Resultanten die Grösse der Kraft gemessen, welche die kleine Magnetnadel dreht.

Zur Bestimmung der Wirkung einer dieser Resultanten betrachte man z. B. nur die Kräfte p_1 und p_2, welche dem Pol s der sehr kleinen Nadel eine Drehung um a geben. Analog den Relationen 1). und 2). erhält man, da bei der von der kleinen Nadel angenommenen Gleichgewichtslage einmal, ohne Rücksicht der erdmagnetischen Kraft, die Summe der Drehungsmomente $= 0$, ein andermal, mit Rücksicht der erdmagnetischen Kraft, gleich dem Drehungsmoment E der erdmagnetischen Kraft sein muss, die weiteren Relationen:

$$3). \quad \frac{sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{sin\alpha_2}{r_2^2} = 0$$

$$4). \quad E = \frac{m.m_1.l.sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{m.m_1.l.sin\alpha_2}{r_2^2}$$

Drückt man die in der Relation 3). vorkommende Sinus der Winkel α_1 und α_2, siehe Figur 146, in die Abstände w_1 und w_2 der Pole N und S vom Schnittpunkt c der verlängerten magnetischen

Erkl. 485. Aus den nebenstehenden Gleichungen:

5). $w_1 : w_2 = r_1{}^3 : r_2{}^3$

e). $w_1 = w - L$

f). $w_2 = w + L$

erhält man durch Substitution:

$$\frac{w - L}{w + L} = \frac{r_1{}^3}{r_2{}^3}$$

oder:

$$w \,.\, r_2{}^3 - L \,.\, r_2{}^3 = w \,.\, r_1{}^3 + L \,.\, r_1{}^3$$

$$w\,(r_2{}^3 - r_1{}^3) = L\,(r_2{}^3 + r_1{}^3) \quad \text{und}$$

1). $w = L \cdot \dfrac{r_2{}^3 + r_1{}^3}{r_2{}^3 - r_1{}^3}$

Erkl. 486. Nach dem trigonometrischen Lehrsatze: „Das Quadrat über einer Seite eines Dreiecks ist gleich der Summe der Quadrate über den beiden andern Seiten, vermindert um das doppelte Produkt aus diesen beiden Seiten und dem Kosinus des von ihnen eingeschlossenen Winkels“ erhält man aus dem Dreieck sNb, siehe Figur 146:

1). . . $r_1{}^2 = r^2 + L^2 - 2 \,.\, r \,.\, L \,.\, \cos\beta$

und aus dem Dreiecke sbN:

$$r_2{}^2 = r^2 + L^2 - 2 \,.\, r \,.\, L \,.\, \cos(2R - \beta)$$

oder nach der Erkl. 487:

2). . . $r_2{}^2 = r^2 + L^2 + 2 \,.\, r \,.\, L \,.\, \cos\beta$

Erkl. 487. Ein goniometrischer Lehrsatz heisst: „Der Kosinus eines stumpfen Winkels, bezeichnet durch: $2R - \beta$, ist gleich dem „negativen Kosinus seines Supplementwinkels β“, in Zeichen:

$$\cos(2R - \beta) = -\cos\beta$$

Hiernach ist:

$$-2 \,.\, r \,.\, L \,.\, \cos(2R - \beta) = -2 \,.\, r \,.\, L \,.\, -\cos\beta$$
$$= +2 \,.\, r \,.\, L \,.\, \cos\beta$$

Axe ns und der verlängerten magnetischen Axe NS, in den Winkel γ, welchen diese Verlängerungen bilden, und in die Entfernungen r_1 und r_2 nach der Erkl. 482 aus, so erhält man:

c). $\sin\alpha_1 = \dfrac{w_1}{r_1} \cdot \sin\gamma$

d). $\sin\alpha_2 = \dfrac{w_2}{r_2} \cdot \sin\gamma$

Diese Werte in die Relation 3). substituiert, ergibt nach der Erkl. 484 die weitere Relation:

5). $w_1 : w_2 = r_1{}^3 : r_2{}^3$

d. h. die Entfernungen w und w_1 verhalten sich wie die dritten Potenzen der Entfernungen der (sehr klein zu denkenden) Nadel von den Magnetpolen N und S.

Bezeichnet man ferner den Abstand der Mitte b des Magnets NS von dem Schnittpunkt c, mit w und die Länge NS des Magnets NS mit $2L$, so ist:

e). $w_1 = w - L$

f). $w_2 = w + L$

und man erhält in Rücksicht dieser für w_1 und w_2 in Relation 5). substituierten Werte, nach der Erkl. 485, für die Entfernung w:

6). $w = L \,.\, \dfrac{r_2{}^3 + r_1{}^3}{r_2{}^3 - r_1{}^3}$

Aus dieser Gleichung kann man die Entfernung w bestimmen, sobald die Entfernungen r_1 und r_2 bekannt sind. Diese Entfernungen r_1 und r_2 findet man aber, wenn die Entfernung der Mitte b des Magnetstabs NS von dem festen Drehpunkt a der kleinen Magnetnadel ns, bezw. von dem sehr nahe bei a liegenden Pol s, mit r, und der Winkel, welchen diese Entfernung r mit der magnetischen Axe NS des Magnetstabs NS bildet, mit β bezeichnet wird, aus den Dreiecken sNb und sSb. Nach der Erkl. 486 erhält man nämlich für diese Entfernungen r_1 und r_2:

7). . . $r_1 = \sqrt{r^2 + L^2 - 2 . r . L . \cos\beta}$

8). . . $r_2 = \sqrt{r^2 + L^2 + 2 . r . L . \cos\beta}$

Will man noch die Richtung der Mag-

Erkl. 488. Nach dem in der Erkl. 482 aufgestellten Lehrsatze besteht in dem Dreiecke sbc, siehe Figur 146, die Relation:

$$sin(2R - \gamma) : sin\beta = r : sc$$

Da nach der Erkl. 483:

$$sin(2R - \gamma) = sin\gamma$$

gesetzt werden kann, so erhält man hieraus:

$$\text{a).} \quad sin\gamma = \frac{r \,.\, sin\beta}{sc}$$

Zur Bestimmung der unbekannten Strecke sc beachte man, dass nach demselben Lehrsatze in dem Dreieck sbc die Relation:

$$sc : w = sin\beta : sin \sphericalangle csb$$

oder die Relation:

$$sc : w = sin\beta : sin(2R - \beta - (2R - \gamma))$$

besteht.

Aus letzterer erhält man der Reihe nach:

$$sc : w = sin\beta : sin(\gamma - \beta)$$

$$\text{b).} \quad sc = \frac{w \,.\, sin\beta}{sin(\gamma - \beta)}$$

Diesen Wert für sc in vorstehende Gleichung a). eingesetzt, gibt:

$$sin\gamma = \frac{r \,.\, sin\beta \,.\, sin(\gamma - \beta)}{w \,.\, sin\beta}$$

oder:

$$\text{c).} \quad sin\gamma = \frac{r}{w}(sin\gamma - \beta)$$

Dies ist nunmehr eine sogenannte goniometrische Gleichung, welche in bezug auf den unbekannten und gesuchten Winkel γ wie folgt aufgelöst werden muss.

Nach der Erkl. 489 ergibt sich zunächst:

$$sin\gamma = \frac{r}{w}(sin\gamma \,.\, cos\beta - cos\gamma \,.\, sin\beta)$$

Dividiert man Glied für Glied dieser Gleichung mit $cos\gamma \,.\, sin\beta$, so erhält man hieraus:

$$\frac{sin\gamma}{cos\gamma \,.\, sin\beta} = \frac{r}{w}\left(\frac{sin\gamma \,.\, cos\beta}{cos\gamma \,.\, sin\beta} - \frac{cos\gamma \,.\, sin\beta}{cos\gamma \,.\, sin\beta}\right)$$

$$\frac{tg\gamma}{sin\beta} = \frac{r}{w}\left(tg\gamma \cdot \frac{cos\beta}{sin\beta} - 1\right)$$

$$tg\gamma = \frac{r}{w}(tg\gamma \,.\, cos\beta - sin\beta)$$

$$w \,.\, tg\gamma = r \,.\, tg\gamma \,.\, cos\beta - r \,.\, sin\beta$$

$$tg\gamma(w - r \,.\, cos\beta) = -r \,.\, sin\beta$$

$$tg\gamma = \frac{-r \,.\, sin\beta}{w - r \,.\, cos\beta}$$

oder:

$$\text{d).} \quad tg\gamma = \frac{r \,.\, sin\beta}{r \,.\, cos\beta - w}$$

netnadel ns in bezug auf die magnetische Axe des Magnets NS, also den Winkel γ bestimmen, so beachte man die Erkl. 488, indem sich nach derselben:

$$\text{9).} \quad tg\gamma = \frac{r \,.\, sin\beta}{r \,.\, cos\beta - w}$$

ergibt. Aus den aus der Relation 3). abgeleiteten Gleichungen 6). bis 9). kann man die Lage der Magnetnadel ns in bezug auf den Magnetstab NS vollständig bestimmen.

Um nun weiter die Totalkraft F zu finden, mit welcher der Magnet NS auf die Magnetnadel ns, bezw. bei der als sehr klein gedachten Nadel auf s wirkt, beachte man, dass deren Drehungsmoment f gleich dem Drehungsmoment E ist, mit welcher die magnetische Erdkraft die abgelenkte Magnetnadel ns in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, dass somit nach der Gleichung 4). die weitere Relation:

$$f = E = \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, sin\alpha_1}{r_1^2} - \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, sin\alpha_2}{r_2^2}$$

besteht.

Setzt man in dieser Gleichung die für r_1 und r_2 gefundenen Werte aus den Gleichungen 7). und 8). ein, so erhält man für das Drehungsmoment f der Totalkraft F den allgemeinen Ausdruck:

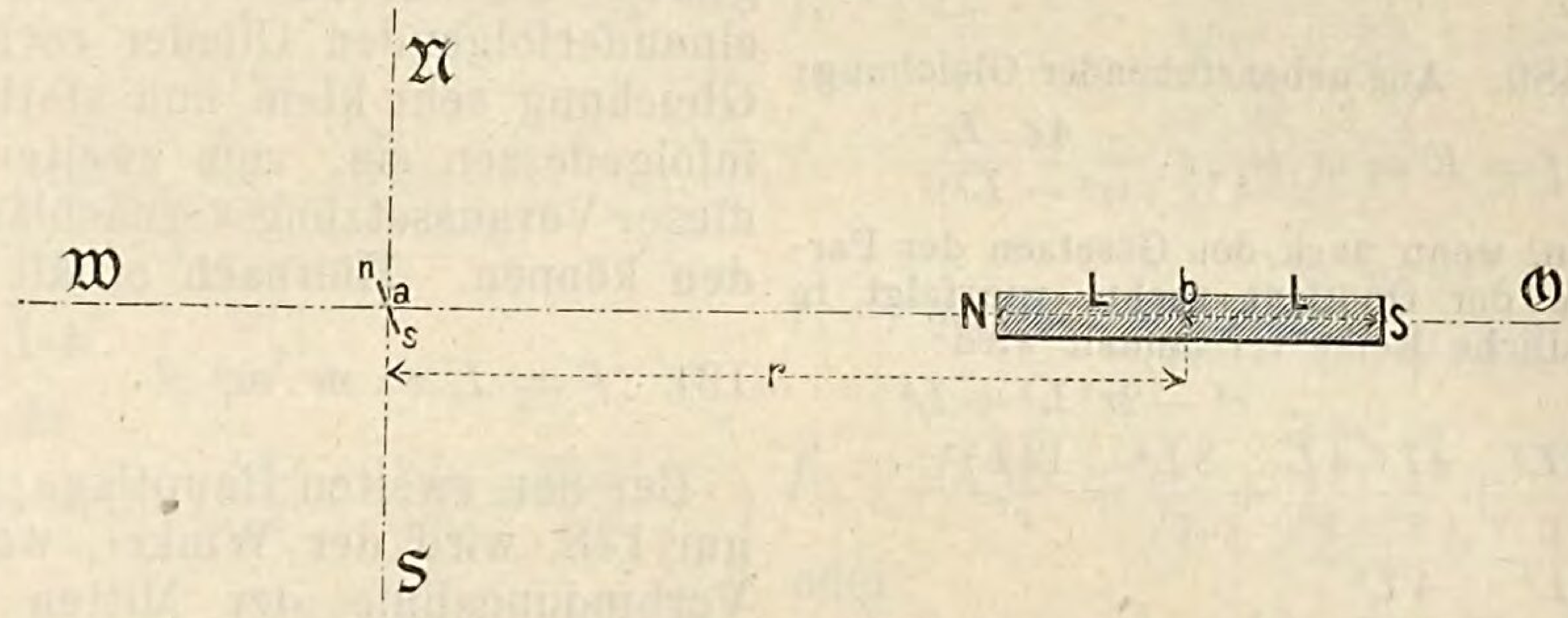
$$\text{10).} \quad f = E = \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, sin\alpha_1}{r^2 + L^2 - 2 \,.\, r \,.\, L \,.\, cos\beta} - \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, sin\alpha_2}{r^2 + L^2 - 2 \,.\, r \,.\, L \,.\, cos\beta}$$

welcher noch etwas reduziert werden könnte.

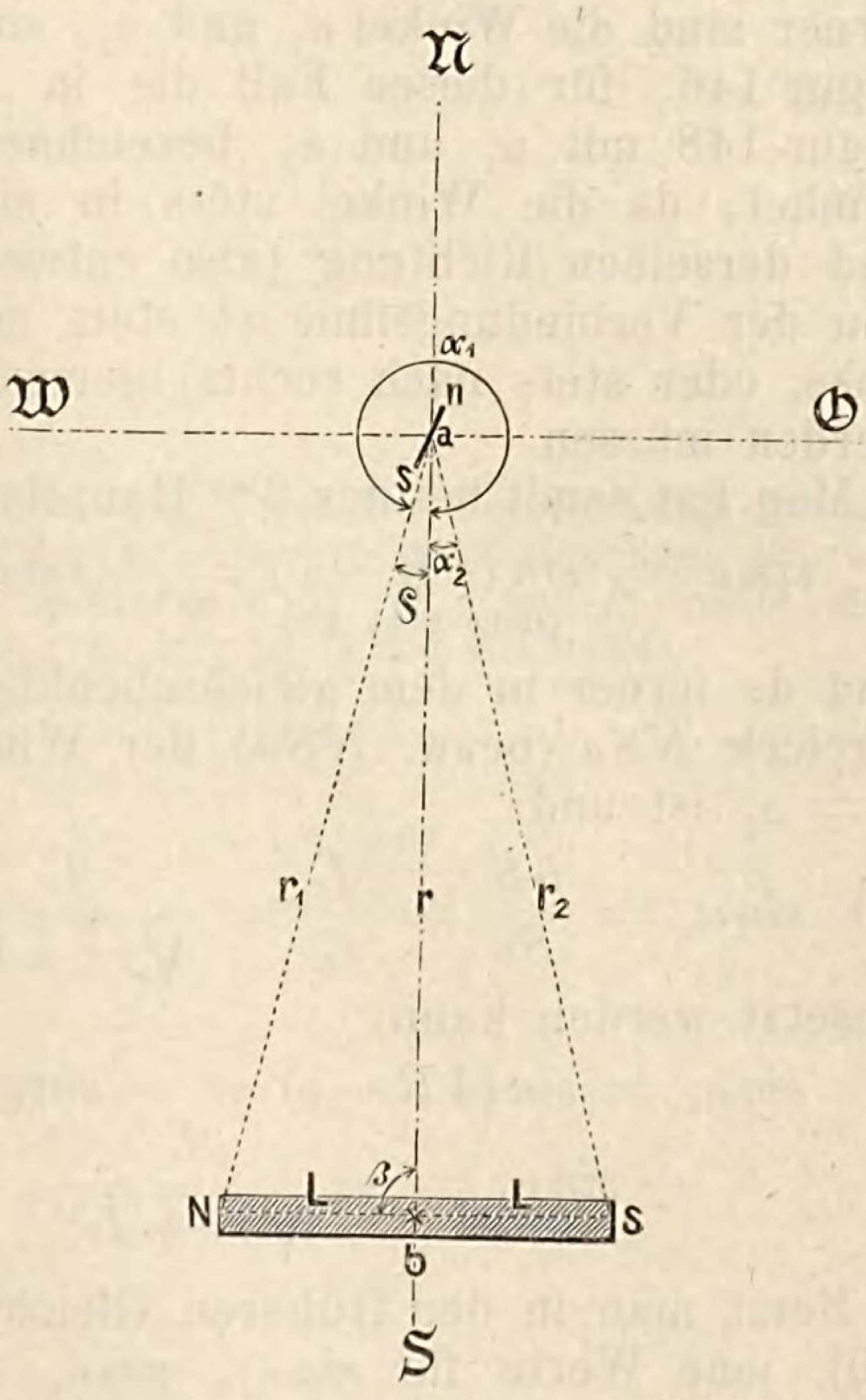
Um jedoch auf einfachere Weise zu einem solchen Ausdruck für das Drehungsmoment f der Totalkraft F zu kommen, aus welchem sich das erwähnte Gesetz ableiten lässt, betrachte man nur zwei spezielle Lagen, sogen. Hauptlagen der Magnetnadel und des Magnetstabs zu einander, nämlich die durch die Figur 147 dargestellte erste Hauptlage, bei welcher die Verlängerung der magnetischen Axe des Magnetstabs NS durch den Drehpunkt a der sehr kleinen Nadel ns geht und senkrecht auf dem mag-

netischen Meridian derselben steht, und die durch die Figur 148 dargestellte zweite Hauptlage, bei welcher ebenfalls die magnetische Axe des Magnetstabs NS senkrecht zum magnetischen Meridian der Nadel ns steht und die durch den Drehpunkt a der Nadel in dem magnetischen Meridian derselben gezogen gedachte horizontale Linie ab die Mitte des Magnetstabs NS trifft.

Figur 147.
Erste Hauptlage.



Figur 148.
Zweite Hauptlage.



Bei der ersten Hauptlage, siehe die Figur 147 und die Figur 146, wird der Winkel β, welchen die Verbindungslinie der Mitten b und a mit der Axe NS bildet $= 0$; ferner werden die Winkel α_1 und α_2, welche die Verbindungslinien der Pole N und s, bezw. S und s (siehe Figur 146) mit der Richtung der Axe ns bilden, in der Figur 147 $= 90^0$, weil die Nadel ns sehr klein ist, mithin s und a als zusammenfallend angenommen werden kann. In Rücksicht dieser speziellen Werte für α_1, α_2 und β und in Rücksicht, dass

$$\cos 0^0 = 1$$
$$\sin 90^0 = 1$$

ist, geht die allgemeine Gleichung 10). für die erste Hauptlage, Figur 147, über in:

$$f = E = \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l}{r^2 + L^2 - 2r \,.\, L} - \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l}{r^2 + L^2 + 2r \,.\, L}$$

und hieraus erhält man durch Reduktion:

$$f = E = m \,.\, m_1 \,.\, l \cdot \frac{r^2 + L^2 + 2r \,.\, L - r^2 - L^2 + 2r \,.\, L}{(r^2 + L^2)^2 - (2r \,.\, L)^2}$$

$$f = E = m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, \frac{4r \,.\, L}{r^4 + 2r^2 \,.\, L^2 + L^4 - 4r^2 \,.\, L^2}$$

$$11).\quad f = E = m.m_1.l.\frac{4r.L}{(r^2 - L^2)^2}$$

oder den Quotienten rechts in einen unendlichen Bruch verwandelt (siehe Erklärung 489):

$$12).\quad f = E = m.m_1.l.\left(\frac{4L}{r^3} + \frac{8L^3}{r^5} + \frac{12L^5}{r^7} + \ldots\right)$$

Wählt man nunmehr die Entfernung r der Mittelpunkte a und b der beiden Magnete im Vergleich zu der halben Länge L des Magnetstabs NS sehr gross, so werden die Werte der aufeinanderfolgenden Glieder rechts dieser Gleichung sehr klein und stetig kleiner, infolgedessen sie, vom zweiten ab, bei dieser Voraussetzung vernachlässigt werden können. Hiernach erhält man:

$$13).\quad f = E = m.m_1.l.\frac{4L}{r^3}$$

Bei der zweiten Hauptlage, siehe Figur 148, wird der Winkel, welchen die Verbindungslinie der Mitten a und b mit der Axe NS bildet $= 90^0$, und ist in der Gleichung 10). für diesen Fall:

$$g).\ldots\quad \cos\beta = \cos 90^0 = 0$$

ferner sind die Winkel α_1 und α_2, siehe Figur 146, für diesen Fall die in der Figur 148 mit α_1 und α_2 bezeichneten Winkel, da die Winkel stets in einer und derselben Richtung (also entweder von der Verbindungslinie ab stets nach links, oder stets nach rechts) gemessen werden müssen.

Man hat somit bei der 2ten Hauptlage:

$$\sin\alpha_1 = \sin(4R - \varrho) = -\sin\varrho$$

(siehe Erkl. 490)

und da ferner in dem gleichschenkligen Dreieck NSs (bezw. NSa) der Winkel $\varrho = \alpha_2$ ist und:

$$h).\quad \sin\alpha_2 = \frac{bS}{Ss} = \frac{L}{r_2} = \frac{L}{\sqrt{r^2 + L^2}}$$

gesetzt werden kann:

$$i).\quad \sin\alpha_1 = \sin(4R - \varrho) = -\sin\varrho = -\sin\alpha_2 = -\frac{L}{\sqrt{r^2 + L^2}}$$

Setzt man in der früheren Gleichung 10). jene Werte für $\sin\alpha_1$, $\sin\alpha_2$ und $\cos\beta$ ein, so erhält man für das Drehungs-

Erkl. 489. Aus nebenstehender Gleichung:

$$11).\ \ldots\quad f = E = m.m_1.l.\frac{4r.L}{(r^2 - L^2)^2}$$

erhält man, wenn nach den Gesetzen der Partialdivision der Quotient rechts wie folgt in eine unendliche Reihe verwandelt wird:

$$\begin{array}{l|l}
4rL & r^4 - 2r^2L^2 + L^4 \\
\hline
\underline{4rL - \frac{8L^3}{r} + \frac{4L^5}{r^3}} & \frac{4L}{r^3} + \frac{8L^3}{r^5} + \frac{12L^5}{r^7} + \ldots \\
\quad\; \frac{8L^3}{r} - \frac{4L^5}{r^3} & \\
\quad\; \underline{\frac{8L^3}{r} - \frac{16L^5}{r^3} + \frac{8L^7}{r^5}} & \\
\qquad\; + \frac{12L^5}{r^3} - \frac{8L^7}{r^5} & \\
\qquad\; \underline{+ \frac{12L^5}{r^3} - \frac{24L^7}{r^5} + \frac{12L^9}{r^7}} & \\
\qquad\qquad \text{u. s. f.} &
\end{array}$$

$$f = E = m.m_1.l.\left(\frac{4L}{r^3} + \frac{8L^3}{r^5} + \frac{12L^5}{r^7} + \ldots\right)$$

Erkl. 490. Ein Lehrsatz aus der Goniometrie heisst: „Der Sinus eines im vierten Quadranten liegenden Winkels, bezeichnet durch $4R - \varrho$, ist gleich dem negativen Sinus des Winkels ϱ, welcher jenen zu $4R$ ergänzt. (Siehe Kleyers Lehrbuch der Goniometrie.)

Erkl. 491. Aus nebenstehender Gleichung:

$$14).\quad f_1 = E_1 = -\frac{2m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, L}{(r^2 + L^2)^{\frac{3}{2}}}$$

ergibt sich der Reihe nach:

$$f_1{}^2 = \frac{4\,(m \,.\, m_1 \,.\, l)^2\, L^2}{(r^2 + L^2)^3}$$

oder:

$$f_1{}^2 = (m \,.\, m_1 \,.\, l)^2 \frac{4 L^2}{r^6 + 3r^4 L^2 + 3r^2 L^4 + L^6}$$

Verwandelt man den Quotienten rechts nach den Gesetzen der Partialdivision wie folgt in eine unendliche Reihe:

$$4L^2 : (r^6 + 3r^4L^2 + 3r^2L^4 + L^6) = \frac{4L^2}{r^6} - \frac{12L^4}{r^8} + \frac{24L^6}{r^{10}} - \ldots$$

$$\underline{\underset{-}{4L^2} \underset{-}{+} \frac{12L^4}{r^2} \underset{-}{+} \frac{12L^6}{r^4} \underset{-}{+} \frac{4L^8}{r^6}}$$

$$-\frac{12L^4}{r^2} - \frac{12L^6}{r^4} - \frac{4L^8}{r^6}$$

$$\underline{\underset{+}{-}\frac{12L^4}{r^2} \underset{+}{-} \frac{36L^6}{r^4} \underset{+}{-} \frac{36L^8}{r^6} \underset{+}{-} \frac{12L^{10}}{r^8}}$$

$$\frac{24L^6}{r^4} + \frac{32L^8}{r^6} + \frac{12L^{10}}{r^8}$$

u. s. f.

so erhält man:

$$f_1{}^2 = (m.m_1.l)^2.\left(\frac{4L^2}{r^6} - \frac{12L^4}{r^8} + \frac{24L^6}{r^{10}} - ..\right)$$

oder:

$$a).\quad f_1 = m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\sqrt{\frac{4L^2}{r^6} - \frac{12L^4}{r^8} + \frac{24L^6}{r^{10}} - ..}$$

Erkl. 492. Aus der Vergleichung der mittels der nebenstehenden Gleichungen 13). und 16). gefundenen Werte f und f_1 ergibt sich, dass $f = 2f_1$ ist (siehe Erkl. 494).

moment f_1, welches der Magnetstab NS bei der durch die Figur 148 dargestellten 2[ten] Hauptlage auf die Nadel ns ausübt:

$$f_1 = E_1 = \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, \frac{L}{\sqrt{r^2+L^2}}}{r^2 + L^2} - \frac{m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, \frac{L}{\sqrt{r^2+L^2}}}{r^2 + L^2}$$

oder:

$$f_1 = E_1 = -\frac{m.m_1.l.L}{\sqrt{r^2+L^2}}\left(\frac{1}{r^2+L^2} + \frac{1}{r^2+L^2}\right)$$

$$f_1 = E_1 = -\frac{m.m_1.l.L}{\sqrt{r^2+L^2}} \cdot \frac{2}{r^2+L^2}$$

$$f_1 = E_1 = -\frac{2m.m_1.l.L}{(r^2+L^2)\sqrt{r^2+L^2}}$$

$$f_1 = E_1 = -\frac{2m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, L}{(r^2+L^2)^{\frac{2}{2}}\,(r^2+L^2)^{\frac{1}{2}}}$$

oder:

$$14).\quad f_1 = E_1 = -\frac{2m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, L}{(r^2+L^2)^{\frac{3}{2}}}$$

und hieraus ergibt sich nach der Erkl. 491:

$$15).\quad f_1 = E_1 = m.m_1.l.\sqrt{\frac{4L^2}{r^6} - \frac{12L^4}{r^8} + \frac{24L^6}{r^{10}} - \ldots}$$

Wählt man nunmehr wiederum die Entfernung r der Mittelpunkte a und b der beiden Magnete im Vergleich zur halben Länge des Magnetstabs NS sehr gross, so werden die Werte der aufeinanderfolgenden Glieder unter dem Wurzelzeichen sehr klein und stetig kleiner, infolgedessen sie, vom zweiten ab, bei dieser Voraussetzung vernachlässigt werden können. Hiernach erhält man:

$$f_1 = E_1 = m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\sqrt{\frac{4L^2}{r^6}}$$

oder:

$$16).\quad f_1 = E_1 = \frac{2m \,.\, m_1 \,.\, l \,.\, L}{r^3}$$

Aus jeder der Gleichungen 13). und 16)., welche für die zwei durch die Figuren 147 und 148 dargestellten Hauptlagen unter der Voraussetzung aufgestellt wurden, dass die Entfernungen gross genug gegen die Dimensionen der

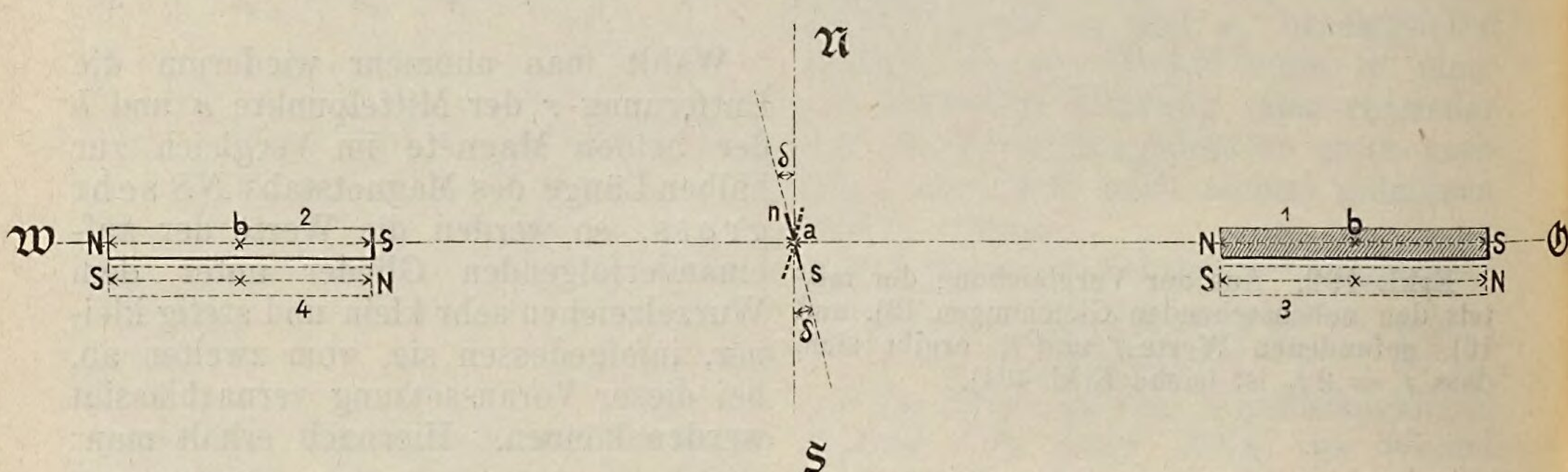
abgelenkten Magnetnadel sind, ergibt sich, da m, m_1, l und L konstante Grössen darstellen, die Richtigkeit des in Antwort der Frage 174 aufgestellten Gesetzes, dass die **Anziehungskräfte**, bezw. deren **Drehungsmomente**, den **dritten Potenzen der Entfernungen umgekehrt proportional** sind (siehe Erkl. 436).

Frage 176. Auf welche Weise lässt sich das in voriger Antwort theoretisch abgeleitete Gesetz der Fernewirkung zweier vollständiger Magnete aufeinander experimentell bestätigen?

Antwort. Das in voriger Antwort abgeleitete Gesetz der Fernewirkung zweier vollständiger Magnete aufeinander wurde durch *Gauss* auf folgende Weise experimentell bestätigt:

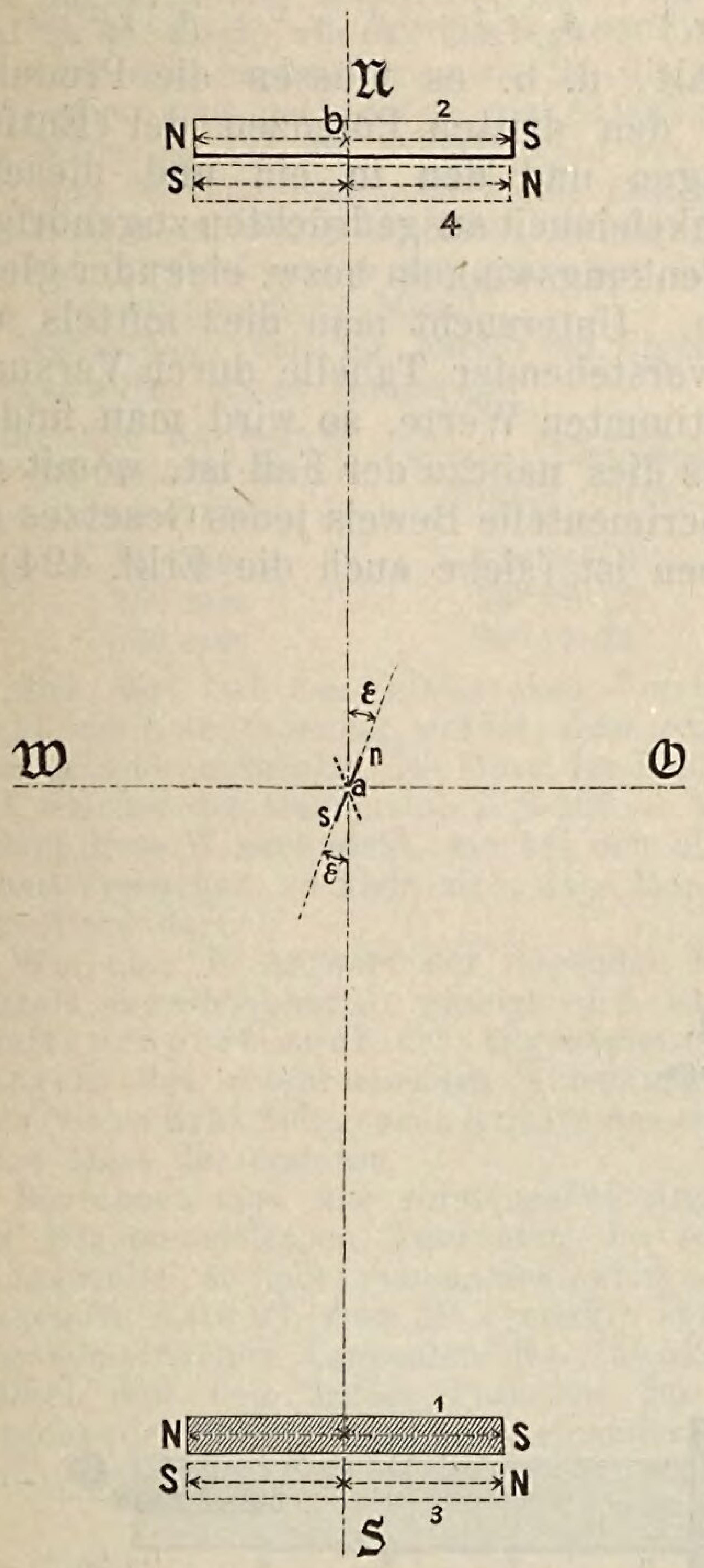
Zum experimentellen Beweis benutzte *Gauss* das schon früher erwähnte Magnetometer und berücksichtigte nur die durch die Figuren 147 und 148 dargestellten und in voriger Antwort erwähnten zwei Hauptlagen; es sind dies diejenigen Lagen, in welchen der Winkel β, siehe Figur 146, seinen grössten und kleinsten Wert erhält.

Figur 149.
Erste Hauptlage.



In beiden zu untersuchenden Fällen, siehe die Figuren 149 und 150, wurde in der Nähe des die frühere Magnetnadel ns nunmehr ersetzenden Magnetometerstabs ns ein sehr kräftiger Magnetstab NS einmal so gelegt, wie die Figur 149 zeigt, ein andermal aber so, wie die Figur 150 zeigt, und in beiden Fällen die Winkel δ und ε beobachtet und gemessen, um welche der Magnetometerstab ns infolge der Einwirkung des Mag-

Figur 150.
Zweite Hauptlage.



Erkl. 493. Um die Ablenkungswinkel δ und ε des Magnetometerstabs *ns*, siehe die Figuren 149 und 150, ziemlich genau zu erhalten und um bei den hierzu nötigen Beobachtungen etwaige Beobachtungsfehler möglichst zu kompensieren, wurde jeder dieser Ablenkungswinkel 4mal beobachtet, nämlich in bezug auf die Figur 150:

a). wenn der Magnetstab *NS* südlich von dem Magnetometerstab *ns*, dabei der Nordpol nach links und der Südpol nach rechts lag;

b). wie unter a)., wenn der Südpol nach links, der Nordpol aber nach rechts lag;

c). wenn der Magnetstab *NS* in derselben Entfernung nördlich von dem Magnetometerstab *ns*, dabei der Nordpol nach links und der Südpol nach rechts lag;

d). wie unter c)., wenn der Südpol nach links, der Nordpol aber nach rechts lag;

und in bezug auf die Figur 149:

netstabs *NS* aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wurde (siehe Erklärung 493).

Diese Ablenkungswinkel δ und ε wurden für verschiedene Entfernungen der Mittelpunkte beider Magnete bestimmt, man fand (siehe Erkl. 493):

bei einer Entfernung *r* der beiden Mittelpunkte *a* u. *b* von	für den Ablenkungswinkel δ in der 1ten durch die Figur 149 dargestellten Hauptlage	für den Ablenkungswinkel ε in der 2ten durch die Figur 150 dargestellten Hauptlage
1,1 m		1° 57′ 24,8″
1,2 „		1° 29′ 40,5″
1,3 „	2° 13′ 51,2″	1° 10′ 19,3″
1,4 „	1° 47′ 28,6″	0° 55′ 58,9″
1,5 „	1° 27′ 19,1″	0° 45′ 19,3″
1,6 „	1° 12′ 7,6″	0° 37′ 12,2″
1,7 „	1° 0′ 9,9″	0° 30′ 57,9″
1,8 „	0° 50′ 52,5″	0° 25′ 59,5″
1,9 „	0° 43′ 21,8″	0° 22′ 9,2″
2,0 „	0° 37′ 16,2″	0° 19′ 1,6″
2,1 „	0° 32′ 4,6″	0° 16′ 24,7″
2,5 „	0° 18′ 51,9″	0° 9′ 36,1″
3,0 „	0° 11′ 0,7″	0° 5′ 33,7″
3,5 „	0° 6′ 56,9″	0° 3′ 28,9″
4,0 „	0° 4′ 35,9″	0° 2′ 22,2″

Da diese erhaltenen Winkel sehr klein sind, so kann man sie nach der Antwort der Frage 157, Seite 155, als Mass des Drehungsmoments annehmen, welches der Magnetstab *NS* auf den Magnetometerstab ausübt, bezw. man kann sie als Mass der Kraft annehmen, mit welcher der Magnetstab *NS* auf *ns* wirkt.

Sollen nun die dritten Potenzen der in der ersten Rubrik verzeichneten, allgemein durch r_1, r_2, r_3 bezeichneten Entfernungen umgekehrt proportional sein den anziehenden Kräften, bezw. den unter der ersten oder unter der zweiten Rubrik verzeichneten Ablenkungswinkeln, bezw. allgemein durch α_1, α_2, α_3 oder durch β_1, β_2, β_3 bezeichneten Winkel, so müssen die Proportionen

$$r_1^3 : r_2^3 = \alpha_2 : \alpha_1 \quad \text{bezw.} \quad r_1^3 : r_2^3 = \beta_2 : \beta_1$$
$$r_2^3 : r_3^3 = \alpha_3 : \alpha_2 \quad \text{„} \quad r_2^3 : r_3^3 = \beta_3 : \beta_2$$
$$r_3^4 : r_4^3 = \alpha_4 : \alpha_3 \quad \text{„} \quad r_3^3 : r_4^3 = \beta_4 : \beta_3$$
u. s. f.

stattfinden, aus welchen man:

$$\alpha_1 \cdot r_1^3 = \alpha_2 \cdot r_2^3 \quad \text{bezw.} \quad \beta_1 \cdot r_1^3 = \beta_2 \cdot r_2^3$$
$$\alpha_2 \cdot r_2^3 = \alpha_3 \cdot r_3^3 \quad \text{„} \quad \beta_2 \cdot r_2^3 = \beta_3 \cdot r_3^3$$
$$\alpha_3 \cdot r_3^3 = \alpha_4 \cdot r_4^3 \quad \text{„} \quad \beta_3 \cdot r_3^3 = \beta_4 \cdot r_4^3$$
u. s. f.

oder:

a_1). wenn der Magnetstab NS östlich von dem Magnetometerstab ns, dabei der Nordpol nach links und der Südpol nach rechts lag;

b_1). wie unter a_1)., wenn der Südpol nach links, der Nordpol aber nach rechts lag;

c_1). wenn der Magnetstab NS in derselben Entfernung westlich von dem Magnetometerstab ns, dabei der Nordpol nach links und der Südpol nach rechts lag;

d_1). wie unter c_1)., wenn der Südpol nach links, der Nordpol nach rechts lag;

und aus je solchen vier Beobachtungen das arithmetische Mittel genommen.

Erkl. 494. Durch Vergleichung der in umstehender Tabelle für δ und ε gefundenen Ablenkungen findet man, dass die Werte für δ nahezu doppelt so gross sind als die für ε, was mit der in der Erkl. 492 aufgestellten Gleichung übereinstimmt.

Auch *Weber* fand mittels des durch die Figuren 151 und 152 dargestellten Instruments, dass die trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel (siehe Erkl. 495) bei der ersten Hauptlage (Fig. 151) doppelt so gross sind, als bei der zweiten Hauptlage (Figur 152).

$$\alpha_1 . r_1^3 = \alpha_2 . r_2^3 = \alpha_3 . r_3^3 = \alpha_4 . r_4^3 = \ldots$$

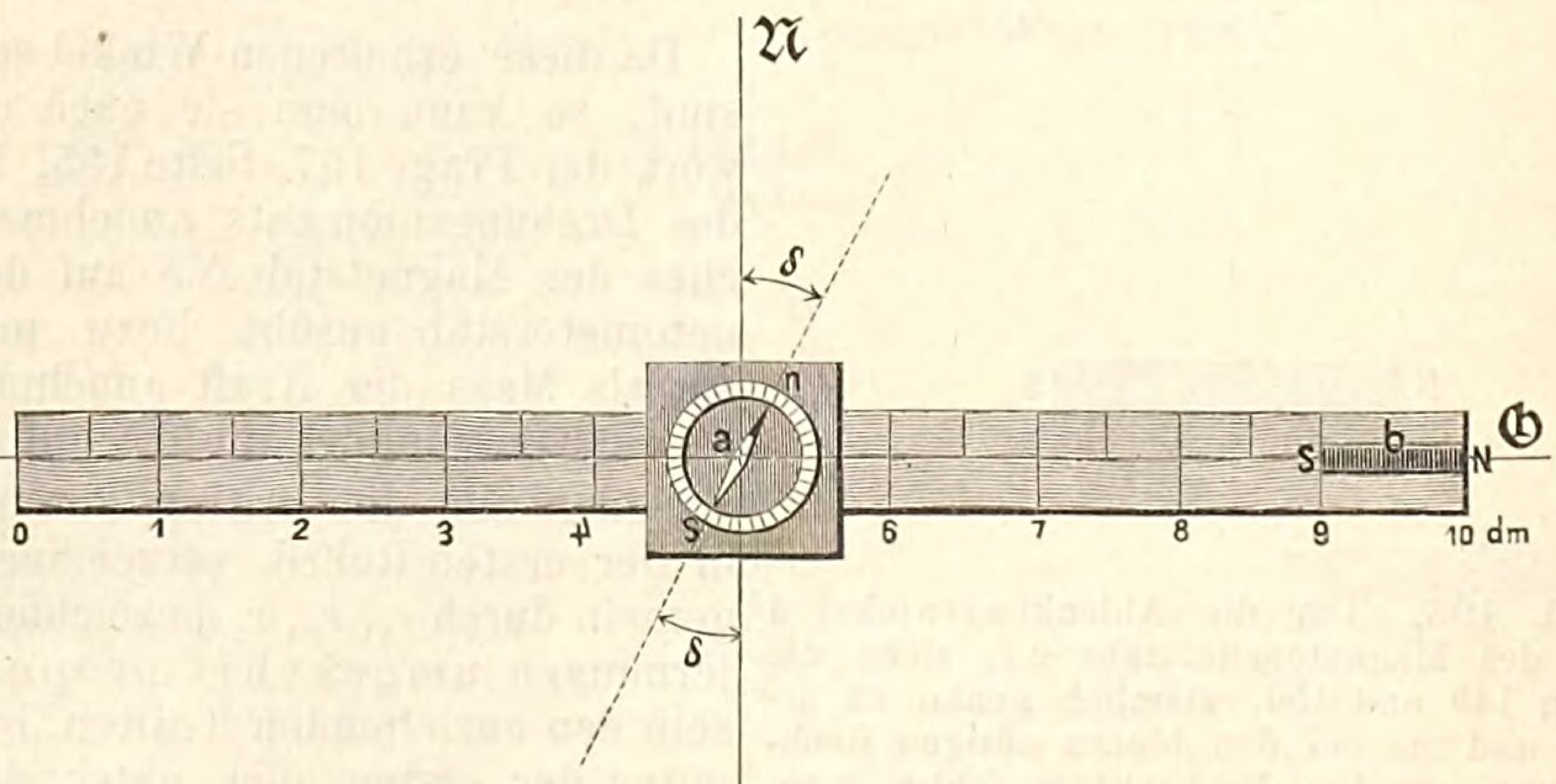
bezw.

$$\beta_1 . r_1^3 = \beta_2 . r_2^3 = \beta_3 . r_3^3 = \beta_4 . r_4^3 = \ldots$$

erhält, d. h. es müssen die Produkte aus den dritten Potenzen der Entfernungen und den in ein und dieselbe Winkeleinheit ausgedrückten zugehörigen Ablenkungswinkeln bezw. einander gleich sein. Untersucht man dies mittels der in vorstehender Tabelle durch Versuche bestimmten Werte, so wird man finden, dass dies nahezu der Fall ist, womit der experimentelle Beweis jenes Gesetzes gegeben ist (siehe auch die Erkl. 494).

Figur 151.

Erste Hauptlage.



Erkl. 495. Der Physiker *W. Weber* gab eine Vorrichtung an, mittels welcher man, ohne Zuhilfenahme des Magnetometers, die Gültigkeit des fraglichen Gesetzes nachweisen kann.

Weber benutzte eine einfache Bussole, auf deren Gradeinteilung man Zehntel-Grade ablesen, bezw. abschätzen kann. Um mittels derselben die Ablenkungswinkel δ und ε zu bestimmen, setzte er dieselbe, wie die Figuren 151 und 152 zeigen, auf die Mitte eines breiten, in Dezimeter eingeteilten und 1 m langen Massstabs und legte auf denselben den Magnet-

stab NS, den er sehr praktisch genau = 1 Dezimeter lang wählte, in verschiedenen Entfernungen von der Mitte des Massstabs, und zwar einmal in der Lage, wie ihn die Figur 151 zeigt, ein andermal in der Lage, wie ihn die Figur 152 zeigt, und beobachtete die Ablenkungen der Nadel ns für die Entfernungen von 450, 350 und 300 mm. Bei jeder dieser Entfernungen machte er, wie in der Erkl. 493 angegeben ist, vier Beobachtungen und nahm aus denselben das arithmetische Mittel.

Weber fand bei der durch die Figur 151 dargestellten ersten Hauptlage:

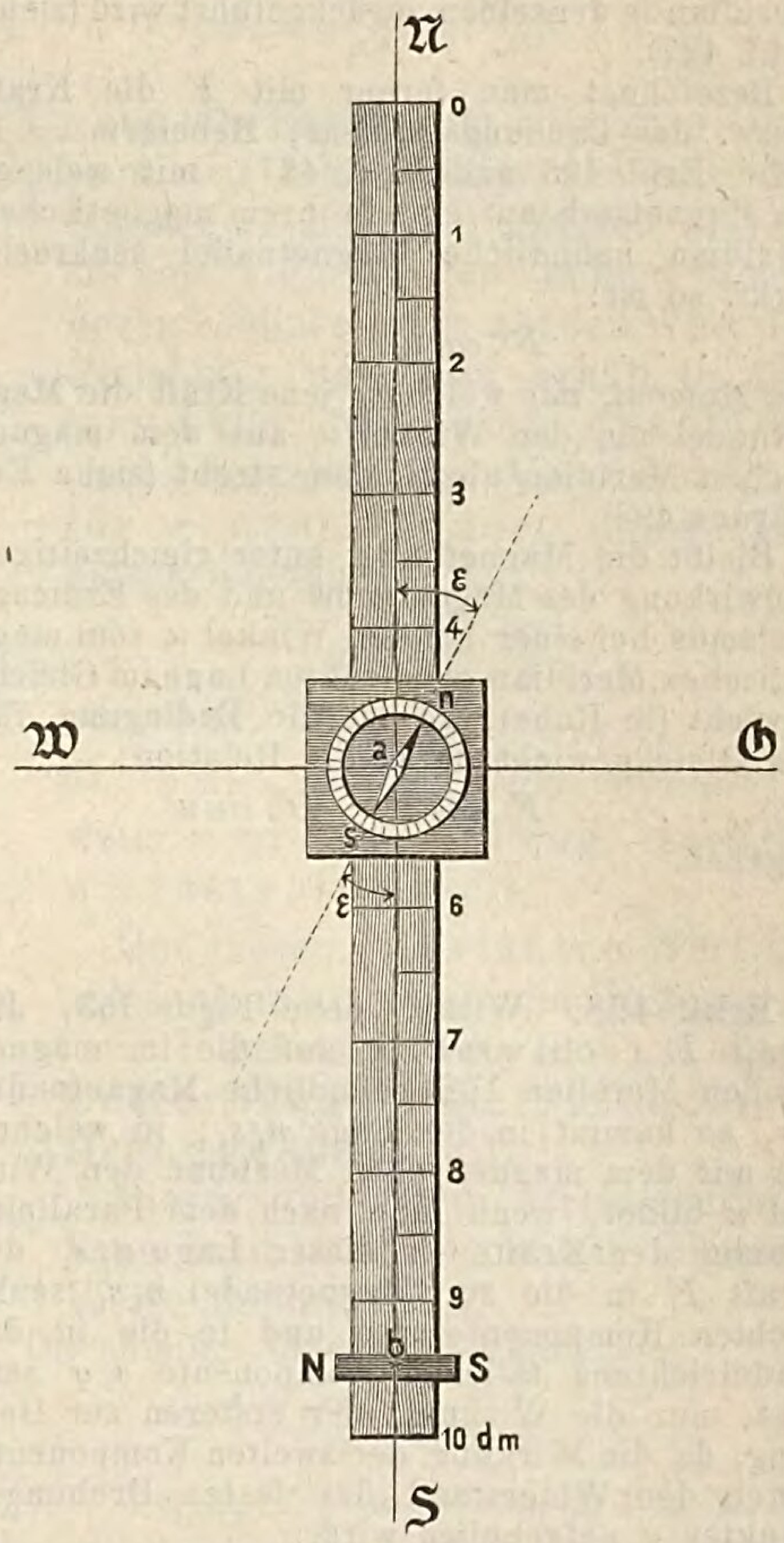
für eine Entfernung r der Mittelpunkte a und b von:	einen Ablenkungswinkel δ von:
450 mm	11° 24′ 0″
350 mm	23° 28′ 50″
300 mm	35° 17′ 25″

Nun darf bei den *Weber*schen Versuchen nicht mehr angenommen werden, dass ein solcher Ablenkungswinkel das Mass der Kraft ist, mit welcher der Magnetstab NS auf ns wirkt, indem diese Winkel nicht, wie bei den *Gauss*schen Versuchen, so klein sind, dass man dies annehmen darf.

Wie aber in Antwort der folgenden Frage mittels der Gleichung 3). gezeigt wird, ist jene Kraft proportional der trigonometrischen Tangens des entsprechenden Ablenkungswinkels (siehe Erkl. 500), somit letztere das eigentliche Mass der ersteren.

Berechnet man aus vorstehenden Angaben die trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel, so findet man analog wie in nebenstehender Antwort, dass die Produkte aus den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel und den dritten Potenzen der entsprechenden Entfernungen bezw. einander gleich sind (siehe auch Erkl. 494).

Figur 152.
Zweite Hauptlage.



m). Ueber das reduzierte Drehungsmoment.

Frage 177. Was versteht man unter dem sogen. „reduzierten Drehungsmoment" und wozu dient dasselbe?

Erkl. 496. Nach der Erkl. 418, Seite 158, ist das Drehungsmoment f gleich dem Produkt aus der Kraft F und dem senkrechten Abstand vom Drehungspunkt; ist jener senkrechte Abstand = 1, so ist $f = F$.

Erkl. 497. Bezeichnet man mit D die Kraft (bezw. das Drehungsmoment, Hebelarm = 1, siehe Erkl. 427), mit welcher der Erdmagnetismus auf einen zum magnetischen Meridian senkrecht stehenden, bezw. auf einen um einen Winkel von 90° vom magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab wirkt, so ist:

a). $D . \sin u$

Antwort. Um zur Definition des sogenannten reduzierten Drehungsmoments zu gelangen, mache man folgende Betrachtung:

Nach der in Antw. der Frage 175 aufgestellten Gleichung 12). ist das Drehungsmoment f der Totalkraft F, mit welcher ein Magnetstab in der durch die Figur 147 dargestellten sogenannten ersten Hauptlage auf die als sehr klein zu denkende Magnetnadel ns wirkt:

$$f = F = m . m_1 . l \left(\frac{4L}{r^3} + \frac{8L^3}{r^5} + \frac{12L^5}{r^7} + \dots \right)$$

Hieraus erhält man, wenn die halbe

das Moment, mit welchem er bei einer Ablenkung um einen Winkel u vom magnetischen Meridian in denselben zurückgeführt wird (siehe Erkl. 427).

Bezeichnet man ferner mit F die Kraft (bezw. das Drehungsmoment, Hebelarm = 1, siehe Erkl. 496 und Erkl. 427), mit welcher ein Magnetstab auf eine in ihrem magnetischen Meridian befindliche Magnetnadel senkrecht wirkt, so ist:

b). $F \cdot \cos u$

das Moment, mit welchem jene Kraft die Magnetnadel um den Winkel u aus dem magnetischen Meridian abzulenken strebt (siehe Erklärung 498).

Bleibt die Magnetnadel unter gleichzeitiger Einwirkung des Magnetstabs und des Erdmagnetismus bei einer um den Winkel u vom magnetischen Meridian abgelenkten Lage im Gleichgewicht (in Ruhe), so ist die Bedingung für das Gleichgewicht durch die Relation:

c). $F \cdot \cos u = D \cdot \sin u$

gegeben.

Erkl. 498. Wirkt, siehe Figur 153, die Kraft F rechtwinklig auf die im magnetischen Meridian $\mathfrak{NS}$ befindliche Magnetnadel ns, so kommt in der Lage $n_1 s_1$, in welcher sie mit dem magnetischen Meridian den Winkel u bildet, wenn man nach dem Parallelogramm der Kräfte in dieser Lage $n_1 s_1$ die Kraft F in die zur Magnetnadel $n_1 s_1$ senkrechten Komponente $s_1 p$ und in die in die Nadelrichtung fallende Komponente $s_1 q$ zerlegt, nur die Wirkung der ersteren zur Geltung, da die Wirkung der zweiten Komponente durch den Widerstand des festen Drehungspunktes a aufgehoben wird.

Da nun
$$p s_1 \perp n_1 s_1$$
$$F s_1 \perp n s$$

mithin $\sphericalangle F s_1 p = \sphericalangle s_1 a s = \sphericalangle u$

(siehe Erkl. 499) ist, so hat man für die Grösse der Komponente $p s_1$ $(= p)$ die Relation:

$$\cos u = \frac{p s_1}{s_1 F}$$

woraus man:

$$p s_1 = s_1 F \cdot \cos u$$

oder:

a). $p = F \cdot \cos u$

erhält, da $s_1 a = 1$ ist, so ist das Drehungsmoment dieser Kraft ebenfalls

$$= F \cdot \cos u \cdot 1$$

oder $= F \cdot \cos u$

Auf analoge Weise lässt sich an derselben Figur mittels des Parallelogramms $s_1 p_1 D q_1$ darthun, dass $D \cdot \sin u$ das Drehungsmoment der Kraft D ist, wie schon in der Erkl. 427 erwähnt wurde.

Länge l der Magnetnadel = 1 gesetzt wird, nach der Erkl. 496 für die Totalkraft F, mit welcher der Magnetstab senkrecht auf die Nadel (siehe Figur 147) wirkt:

$$1). \quad F = \frac{4m \cdot m_1 \cdot L}{r^3} + \frac{8m \cdot m_1 \cdot L^3}{r^5} + \frac{12m \cdot m_1 \cdot L^5}{r^7} + \ldots$$

Ferner hat man nach der Erkl. 497 zwischen dem Drehungsmoment der Totalkraft F, mit welcher der Magnetstab senkrecht auf den Pol s der Magnetnadel ns wirkt, und dem Drehungsmoment der richtenden Kraft D der Erde, mit welcher sie senkrecht auf die (um 90° abgelenkte, siehe Erkl. 418) Magnetnadel wirkt, wenn der Ablenkungswinkel der Nadel vom magnetischen Meridian mit u bezeichnet wird, die weitere Relation:

2). $F \cdot \cos u = D \cdot \sin u$

aus welcher sich:

3). $F = D \cdot \operatorname{tg} u$

ergibt (siehe Erkl. 500).

Substituiert man diese Werte in Gleichung 1)., so erhält man:

$$D \cdot \operatorname{tg} u = \frac{4m \cdot m_1 \cdot L}{r^3} + \frac{8m \cdot m_1 \cdot L^3}{r^5} + \frac{12m \cdot m_1 \cdot L^5}{r^7} + \ldots$$

oder:

$$4). \quad \operatorname{tg} u = \frac{4m \cdot m_1 \cdot L}{D \cdot r^3} + \frac{8m \cdot m_1 \cdot L^3}{D \cdot r^5} + \frac{12m \cdot m_1 \cdot L^5}{D \cdot r^7} + \ldots$$

In dieser Gleichung sind die noch unbekannten Glieder:

$$\frac{4m \cdot m_1 \cdot L}{D}, \frac{8m \cdot m_1 \cdot L^3}{D}, \ldots$$

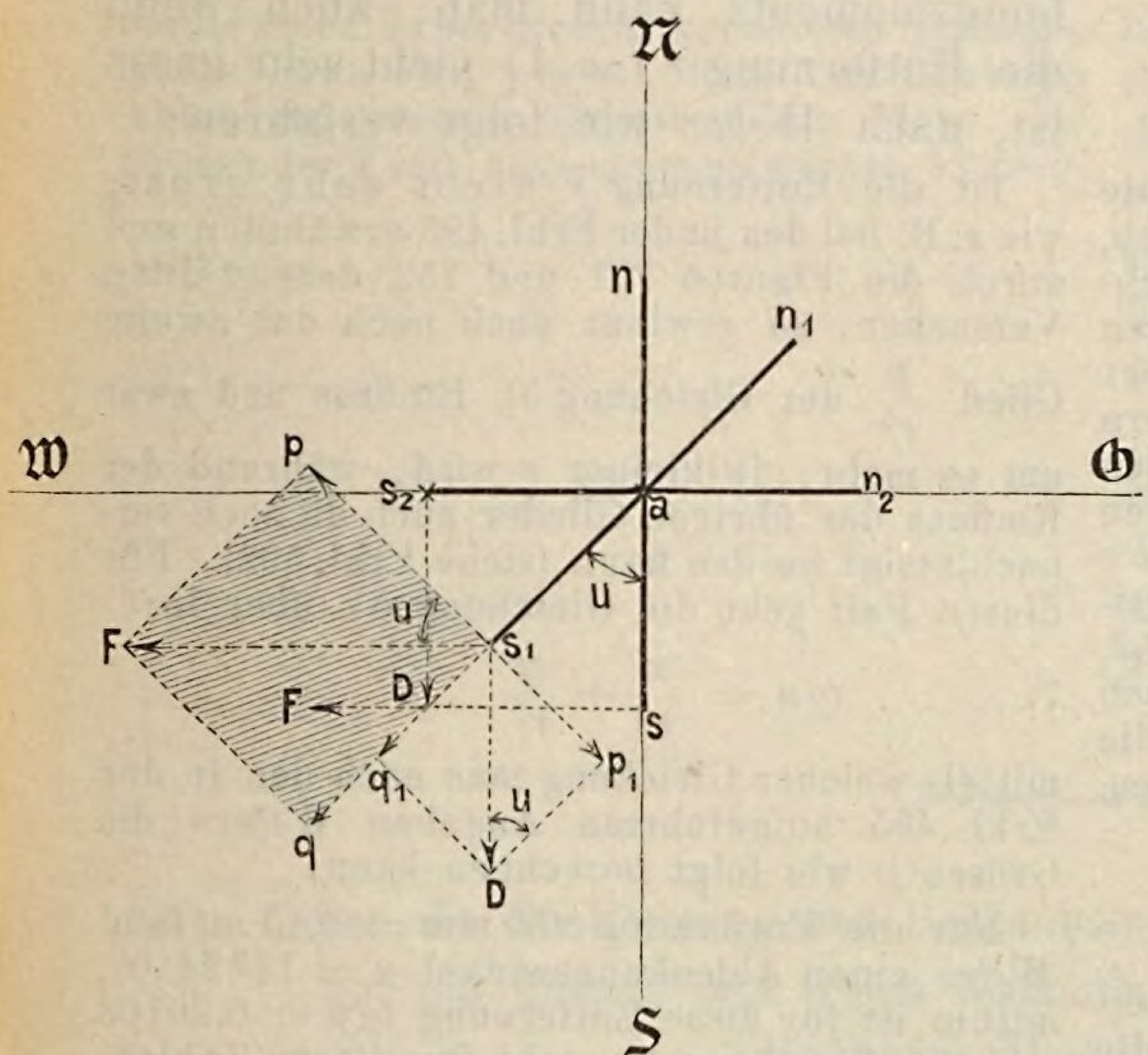
enthalten, welche sich wie folgt eliminieren, bezw. bestimmen lassen. Setzt man nämlich:

$$a). \ldots \quad \frac{4m \cdot m_1 \cdot L}{D} = x$$

$$b). \ldots \quad \frac{8m \cdot m_1 \cdot L^3}{D} = y$$

Erkl. 499. Ein geometrischer Lehrsatz heisst: „Stehen die Schenkel zweier Winkel paarweise aufeinander senkrecht, oder sind sie paarweise parallel, so sind diese Winkel bezw. gleich.“

Figur 153.



Erkl. 500. Da die Direktionskraft D, bezw. die Wirkung des Erdmagnetismus konstant ist (was jedoch nach früherem nur in derselben Zeit und an demselben Ort angenommen werden darf), so ergibt sich aus umstehender Gleichung 3).:

$$F = D \,.\, tgu$$

der Satz, dass die Grösse der Kraft F, mit welcher der Magnetstab auf die Magnetnadel wirkt, nicht proportional (siehe Erkl. 436) den Ablenkungswinkeln u ist (wie auch in der Antwort der Frage 176 bei dem angeführten *Gauss*schen Experiment angenommen wurde, siehe auch die Erkl. 495, was beiläufig bemerkt nicht unrichtig war, indem bei diesen Experimenten die beobachteten Winkel sehr klein waren, was zu jener Annahme berechtigte, indem für sehr kleine Winkel sowohl deren trigonometrischen Tangenten als auch deren Sinus den in Längeneinheiten ausgedrückten Bögen, bezw Winkeln gleichgesetzt werden können, siehe Erkl. 420), sondern dass sie proportional den trigonometrischen Tangenten dieser Ablenkungswinkel sind, weshalb auch bei grösseren Ablenkungen die trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel als Mass für die Kraft des ablenkenden Stabs angenommen werden müssen.

so geht die Gleichung 4). über in:

$$5). \;.\;.\;.\; tgu = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \dots$$

Ist nun die Entfernung r sehr gross, so haben, wie schon früher erwähnt, die Glieder rechts vom zweiten ab, da sie sehr klein werden, keinen besonderen Einfluss mehr auf den Wert der Gleichung und man erhält in diesem Falle, wie sich der Wert (unter der gemachten Voraussetzung) für r auch ändern mag, aus dieser Gleichung:

$$tgu = \frac{x}{r^3}$$

oder aus:

$$6). \;.\;.\;.\;.\; x = r^3 \,.\, tgu \quad \text{(siehe Erkl. 501)}$$

wenn $r = 1$ gesetzt wird, einen für x konstanten Wert.

Und diesen konstanten Wert für x nennt man, wenn die Entfernung $r = 1$ gesetzt wird, das auf diese Entfernungseinheit reduzierte Drehungsmoment.

Dieses reduzierte Drehungsment kann man auch noch auf folgende Weise definieren:

Da nämlich in der Gleichung a).:

$$\frac{4m \,.\, m_1 \,.\, L}{D} = x$$

$$c). \;.\;.\; 4m.m_1.L = m.2L.m_1.2.1 = M.M_1$$

nämlich gleich dem Produkt bestehend aus dem magnetischen Moment $m \,.\, 2L = M$ des Magnetstabs und dem magnetischen Moment $m_1 \,.\, 2 \,.\, 1 = M_1$ der Magnetnadel, deren halbe Länge $l = 1$ angenommen wurde, gesetzt werden kann, so geht die Gleichung a). über in:

$$d). \;.\;.\; x = \frac{M \,.\, M_1}{D}$$

Hieraus erhält man in Rücksicht der Gleich. 6).:

$$e). \;.\;.\; x = \frac{M \,.\, M_1}{D} = r^3 \,.\, tgu$$

oder wenn die Entfernung $r = 1$ genommen wird:

$$f). \;.\;.\; x = \frac{M \,.\, M_1}{D} = tgu$$

Für den Fall, dass $r = 1$ und dass die als konstant vorausgesetzte Direktionskraft D der abgelenkten Nadel ebenfalls = der Einheit (s. Erkl. 427 u. 506) ist, kann man nach *Weber* sagen:

Erkl. 501. Aus der umstehenden Gleichung 6).:

a). $x = r^3 . tg u$

ergibt sich, wenn $r = 1$ und gross genug gewählt wird, dass man für x stets einen und denselben Wert, nämlich:

b). $x = tg u$

erhält.

Erkl. 502. Die Glieder auf der rechten Seite der umstehenden Gleichung 5)., vom dritten ab, können nur unter der Voraussetzung vernachlässigt werden, dass die Zähler derselben gegen die Nenner sehr klein sind, dies ist aber nur dann der Fall, wenn die in den Zählern enthaltenen Dimensionen und Mengen freien Magnetismus der Magnete im Vergleich zu den in den Nennern enthaltenen Entfernungen r klein sind. Werden also wie bei den Experimenten *Webers*, siehe die Figuren 151 und 152, kleine Entfernungen gewählt, so müssen auch dementsprechend, wie jene Figuren zeigen, die Magnete entsprechend kleiner gewählt werden.

Erkl. 503. Wirkt der ablenkende Magnetstab auf die Magnetnadel in der durch die Figur 148 dargestellten sogen. zweiten Hauptlage, so erhält man in analoger Weise, aber unter Beachtung der in Antwort der Frage 175 aufgestellten Gleichung 15).:

$$f_1 = E_1 = m . m_1 . l . \sqrt{\frac{4 L^2}{r^6} - \frac{12 L^4}{r^8} + \ldots}$$

für das reduzierte Drehungsmoment, also für die trigonometrische Tangens des Winkels u_1, um welchen die Nadel von dem um 1 m entfernten Magnetstab abgelenkt wird:

$$x_1 = \frac{M . M_1}{D} = r^3 . tg u_1$$

oder für die Entfernung $r = 1$ m:

$$x_1 = 1^3 . tg u_1 = 0{,}00876$$

Erkl. 504. Aus der nebenstehenden Gleichung 8).:

a). $tg u = 0{,}01753$

und aus der in der Erkl. 503 aufgestellten Gleichung:

b). $tg u_1 = 0{,}00876$

ergeben sich für u die Werte:

c). $u = 1^0 0' 43''$ und

d). $u_1 = 0^0 30' 21''$

Wie nun in der Erkl. 500 gesagt wurde, ist die Grösse der Kraft, mit welcher der Magnetstab

„Das konstante Produkt, bestehend aus den magnetischen Momenten M und M_1 beider Stäbe, ist das auf die Entfernungseinheit reduzierte Drehungsmoment, welches der Magnetstab auf die Magnetnadel ausübt."

Zur Berechnung des reduzierten Drehungsmoments kann man, auch wenn die Entfernung r (= 1) nicht sehr gross ist, nach *Weber* wie folgt verfahren:

Ist die Entfernung r nicht sehr gross, wie z. B. bei den in der Erkl. 495 erwähnten und durch die Figuren 151 und 152 dargestellten Versuchen, so gewinnt auch noch das zweite Glied $\frac{y}{r^5}$ der Gleichung 5). Einfluss und zwar um so mehr, je kleiner r wird, während der Einfluss der übrigen Glieder auch da noch vernachlässigt werden kann (siehe Erkl. 502). Für diesen Fall geht die Gleichung 5). über in:

7). . . . $tg u = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5}$

mittels welcher Gleichung man nach den in der Erkl. 495 aufgeführten Angaben *Webers* die Grösse x wie folgt berechnen kann:

Für die Entfernung 450 mm = 0,45 m fand *Weber* einen Ablenkungswinkel $u = 11^0 24' 0''$, mithin ist für diese Entfernung $tg u = 0{,}20163$ und die Gleichung 7). geht für diesen Zahlenwert über in:

α). . . . $0{,}20163 = \frac{x}{0{,}45^3} + \frac{y}{0{,}45^5}$

Für die Entfernung 350 mm = 0,35 m fand *Weber* einen Ablenkungswinkel $u = 23^0 28' 50''$, mithin ist für diese Entfernung $tg u = 0{,}43441$ und die Gleichung 7). geht für diesen Zahlenwert über in:

β). . . . $0{,}43441 = \frac{x}{0{,}35^3} + \frac{y}{0{,}35^5}$

Für die Entfernung 300 mm = 0,30 m fand *Weber* einen Ablenkungswinkel $u = 35^0 17' 25''$, mithin ist für diese Entfernung $tg u = 0{,}70779$ und die Gleichung 7). geht für diesen Zahlenwert über in:

γ). . . . $0{,}70779 = \frac{x}{0{,}30^3} + \frac{y}{0{,}30^5}$

Aus je zwei dieser Gleichungen α)., β). und γ). kann man nun x berechnen.

Aus Gleichung α). und β). findet man:

$$x = 0{,}01799$$

Aus Gleichung α). und γ). findet man:

$$x = 0{,}017784$$

Aus Gleichung β). und γ). findet man:

$$x = 0{,}01731$$

Nimmt man aus diesen drei für x gefundenen Werten das arithmetische Mittel, so ergibt sich:

$$x = 0{,}017667$$

auf die Nadel wirkt, den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel proportional. Aus den Relationen a). und b). ergibt sich, dass diese Kraft in den zwei Hauptlagen sich wie 2 : 1 verhält, was mit der Erkl. 492 übereinstimmt.

Aus den Relationen c). und d). ergibt sich, dass das Verhältnis der Winkel ebenfalls 2 : 1 ist, woraus sich auch die Richtigkeit der bei den *Gauss*schen Experimenten gemachten Annahme (siehe Erkl. 500) ergibt, dass bei kleinen Ablenkungswinkeln dieselben als Mass der Grösse der Kraft angenommen werden können.

wofür *Weber* mittels Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate genauer:

δ). $x = 0{,}01753$ fand.

Dieser für kleine Entfernungen, aber unter der Voraussetzung berechnete Wert, dass die Dimensionen der Magnete im Verhältnis zu jenen Entfernungen noch klein genug sind (siehe Erkl. 502), ist der Grenzwert, dem sich x nähert, wenn die Entfernungen grösser werden (wobei sich die Dimensionen der Magnete entsprechend verändern können) und man erhält hiernach und nach der Gleichung 6). :

$$x = r^3 . tg u$$

wenn die Entfernung $r = 1 m$ ist, für das auf diese Entfernungseinheit reduzierte Drehungsmoment:

8). . . . $x = 1^3 . tg u = 0{,}01753$

(siehe die Erkl. 503 und 504).

n). Ueber die Bestimmung des Drehungsmoments T, welches der Erdmagnetismus auf die Einheit des freien Magnetismus eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs ausübt.

Frage 178. Auf welche Weise kann man nunmehr das nach Antwort der Frage 162, Seite 165, zur Bestimmung des magnetischen Moments eines Magnetstabs erforderliche Drehungsmoment T bestimmen, welches die als konstant vorausgesetzte erdmagnetische Kraft auf die Einheit des freien Magnetismus jenes in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs ausübt?

Antwort. Zur allgemeinen Bestimmung des in Rede stehenden Drehungsmoments T verfahre man wie folgt:

Bezeichnet man das magnetische Moment $m . L$ eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs mit M, so hat man nach der Formel 7, Seite 166, die Relation:

1). $M . T = D$

In dieser Gleichung ist sowohl das magnetische Moment M, als auch das Drehungsmoment T, welches die als konstant vorausgesetzte erdmagnetische Kraft der in der Entfernung Eins von der Drehaxe zu denkenden Einheit des freien Magnetismus des Magnetstabs erteilt, unbekannt. Zur Bestimmung der einen oder der andern dieser Grössen ist somit noch eine weitere Gleichung

erforderlich, zu welcher man mittels nachstehender Betrachtung gelangt.

Nach der in voriger Antwort aufgestellten Gleichung e). besteht zwischen dem magnetischen Moment M jenes Magnetstabs A, dem magnetischen Moment M_1 eines andern Magnetstabs B, auf welchen man A (als fester Magnet) in der durch die Figur 147 dargestellten sogen. ersten Hauptlage aus der Entfernung r wirkend zu denken hat, dem Ablenkungswinkel u, um welchen B infolge der Einwirkung des A von seinem magnetischen Meridian abgelenkt wird, und dem Drehungsmoment D_1, welches die erdmagnetische Kraft auf den Magnetstab B ausübt, wenn B um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, die Relation:

a). $$\frac{M_1 . M}{D_1} = r^3 . tg u$$

Nimmt man nun an, dass das magnetische Moment M_1 des Magnetstabs B = Eins sei, dass er also in dem Abstand Eins von der Drehaxe die Einheit des freien Magnetismus enthielte und beobachtet man ferner, dass alsdann für einen solchen Stab, nach vorstehender Gleichung 1)., da die Wirkung der erdmagnetischen Kraft auf die Einheit des freien Magnetismus konstant bleibt, sich $D_1 = T$ ergibt, so geht vorstehende Gleichung a). über in:

2). $$\frac{M}{T} = r^3 . tg u$$

Aus den Gleichungen 1). und 2). ergibt sich durch Division:

$$T^2 = \frac{D}{r^3 . tg u} \quad \text{oder:}$$

Formel 23 $$T = \sqrt{\frac{D}{r^3 . tg u}}$$

Setzt man schliesslich noch nach der Formel 15, Seite 171:

$$D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

so erhält man:

$$T = \sqrt{\frac{\pi^2 . K}{t^2 . r^3 . tg u}} \quad \text{oder:}$$

Erkl. 505. Nebenstehende Gleichung 2).:

$$\frac{M}{T} = r^3 . tg u$$

drückt nach Antwort der Frage 177 aus, dass wenn der Magnetstab, dessen magnetisches Moment = M ist, in der durch die Figur 147 dargestellten sogenannten ersten Hauptlage aus der Entfernung $r = 1$ auf eine in ihrem magnetischen Meridian befindliche Magnetnadel wirkt, welche in der Abstandseinheit von der Drehaxe die Einheit des freien Magnetismus besitzt, ein auf jene Entfernungseinheit reduziertes Drehungsmoment = $tg u$ ausübt.

Erkl. 506. Wird in nebenstehender Gleichung 2).:

$$\frac{M}{T} = r^3 . tg u$$

die Entfernung $r = 1$ gesetzt, und ist das auf diese Entfernungseinheit reduzierte Drehungsmoment $tg u = 1$, so ergibt sich hieraus:

$$\frac{M}{T} = 1$$

oder: $$M = T$$

d. h.: wirkt ein Magnetstab, dessen magnetisches Moment = M ist, in der durch die Figur 147 dargestellten sogenannten ersten Hauptlage aus der Entfernung Eins auf eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel, deren magnetisches Moment = Eins ist, bezw. welche die Einheit des freien Magnetismus besitzt, und ist das reduzierte Drehungsmoment = Eins, so ist das magnetische Moment M jenes Stabes gleich dem Drehungsmoment T.

Die Bestimmung der Grösse T gibt hiernach ein Mittel, die Einheit des freien Magnetismus zu fixieren; kennt man nämlich T, also auch M, so wird hiernach der Stab die Einheit des magnetischen Moments, bezw. die Einheit des freien Magnetismus haben, auf welchen der Stab, dessen magnetisches Moment = M, bezw. = T ist, ein reduziertes Drehungsmoment = Eins hervorbringt (siehe den folgenden Abschnitt).

Formel 24 $T = \frac{\pi}{t} \cdot \sqrt{\frac{K}{r^3 . tgu}}$

Die spezielle Bedeutung des Wertes für T ergibt sich aus dem folgenden Abschnitt.

o). Ueber die magnetischen Masseinheiten.

Erkl. 507. In der Mechanik sind im allgemeinen zwei verschiedene Masssysteme im Gebrauch, nämlich:

I). das sogenannte irdische oder terrestrische Masssystem,

welches nach *J. Müller* seinen Namen daher hat, weil die Definitionen der Einheiten desselben grösstenteils auf die Erde, bezw. auf deren Anziehungskraft Bezug haben,

und

II). das sogen. absolute Masssystem,

welches im Gegensatz zu ersterem seinen Namen daher hat, weil die Definitionen der Einheiten desselben ganz unabhängig von der Anziehungskraft der Erde gegeben sind.

Die Definitionen der beiden Masssystemen zu Grunde liegenden Einheiten sind im nachfolgenden gegeben:

a). Definitionen der dem irdischen Masssystem zu Grunde liegenden Einheiten:

1). Längeneinheit, d. i. das Meter, bezw. der 10 millionste Teil des Erdquadranten.

Anmerkung 1. Das Meter muss nach dieser Definition durch geodätische Operationen aus der Grösse der Erde abgeleitet werden, da sich aber bei jeder neuen Bestimmung aus mancherlei Gründen stets verschiedene Längen für dasselbe ergeben, so muss man, um eine ganz bestimmte Strecke als Längeneinheit festzustellen, die vorstehende Definition dahin umändern und sagen: Das Meter ist gleich der Länge eines Platinstabs, dessen Länge bei der in den Jahren 1792—1808 in Frankreich vorgenommenen Gradmessung = 443,296 alte Pariser Linien bei 0° Temperatur, bezw. gleich dem 10 millionsten Teil des dazumal gemessenen Erdquadranten gemacht wurde und in Paris (als mètre des archives) aufbewahrt wird.

Anmerkung 2. Anstatt das Meter kann man auch Unterabteilungen desselben gleich der Längeneinheit setzen, wobei zu berücksichtigen ist, dass 1 Meter (m) = 10 Dezimeter (dm) = 100 Centimeter (cm) = 1000 Millimeter (mm) ist.

2). Zeiteinheit, d. i. die Sekunde, bezw. der $\frac{1}{86400}$ste Teil der mittleren Tageslänge.

3). Geschwindigkeitseinheit, d. i. die Geschwindigkeit, durch welche bei unveränderter Fortdauer derselben in der Sekunde ein Weg gleich der Längeneinheit zurückgelegt wird.

4). Beschleunigungseinheit, d. i. die Beschleunigung (oder auch Verzögerung), durch welche bei unveränderter Fortdauer während einer Sekunde die Wege in den folgenden Sekunden um die Längeneinheit vermehrt (oder vermindert) wird.

b). Definitionen der dem absoluten Masssystem zu Grunde liegenden Einheiten:

1a). Längeneinheit, wie nebenstehend.

2a). Zeiteinheit, wie nebenstehend.

3a). Geschwindigkeitseinheit, wie nebenstehend.

4a). Beschleunigungseinheit, wie nebenstehend.

Anmerkung 3. Eine Verzögerung ist als negative Beschleunigung aufzufassen.

Anmerkung 4. Nach dieser Definition der Beschleunigungseinheit wurde in Paris die Beschleunigung eines im luftleeren Raume frei fallenden Körpers, welche ihm infolge der Anziehungskraft der Erde erteilt wird, gemessen und dafür der Wert: $G = 9{,}808$ m gefunden. Für jeden andern Ort ist die einem Körper infolge der Anziehungskraft der Erde erteilte Beschleunigung eine andre und wird allgemein mit g bezeichnet.

5). Krafteinheit, d. i. die Kraft, mit welcher die Erde einen Kubikdezimeter destillierten Wassers, gemessen bei der Temperatur der grössten Dichte, auf der Pariser Sternwarte anzieht, oder d. i. der Druck eines Kubikdezimeter Wassers grösster Dichte im luftleeren Raume auf der Pariser Sternwarte auf seine ruhende Unterlage, oder d. i. die Kraft, mit welcher das in Paris aufbewahrte Platinkilogrammetalon, durch welches die Gewichts- und Druckeinheit gemessen wird (siehe Andeutung 5 und folgende Definition), auf der Pariser Sternwarte von der Erde angezogen wird.

Anmerkung 5. Infolge der Anziehung, welche die Erde auf jeden Körper ausübt, entsteht ein Druck auf dessen feste Unterlage, welcher Gewicht genannt wird.

5a). Krafteinheit, d. i. die Kraft, welche der Masseneinheit (siehe folgende Definitionen), bezw. der Masse eines Kilogramms in der Zeiteinheit die Beschleunigungseinheit erteilt.

Anmerkung 5a. Bei einer Vergleichung der irdischen Krafteinheit und der absoluten Krafteinheit ergibt sich, dass die absolute Krafteinheit $G = 9{,}808$ mal kleiner ist als die irdische. Denn die irdische Krafteinheit ist die Kraft, mit welcher die Erde einen Kubikdezimeter destillierten Wassers bei seiner grössten Dichte anzieht, bezw. mit welcher ein Kilogrammgewichtsstück auf der Pariser Sternwarte angezogen wird. Nach der Anmerkung 4 ist hiernach die Beschleunigung, welche die irdische Krafteinheit erzeugt $= G = 9{,}808$ m, während die absolute Krafteinheit nur die Beschleunigungseinheit erzeugt.

7). Gewichtseinheit oder Druckeinheit, d. i. das Kilogramm, bezw. das Gewicht, der Druck (Zug), welchen ein Kubikdezimeter destillierten Wassers bei seiner grössten Dichte im luftleeren Raum auf der Pariser Sternwarte auf seine ruhende Unterlage ausübt.

Anmerkung 6. Die Gewichtseinheit, das Kilogramm ist der Druck, den der in Paris aufbewahrte Platinkilogrammetalon auf der Pariser Sternwarte im luftleeren Raum auf seine ruhende Unterlage ausübt.

Anmerkung 7. Anstatt des Kilogramms kann man Unterabteilungen desselben gleich der Gewichtseinheit annehmen, wobei zu berücksichtigen ist, dass 1 Kilogramm (kg) = 1000 Gramm (g) = 1000000 Milligramm (mg) ist.

Anmerkung 8. Die Grösse einer Kraft wird durch die Krafteinheit, bezw. durch die Gewichts- oder Druckeinheit gemessen.

7a). Gewichtseinheit, d. i. der Druck, welchen ein durch die Krafteinheit nach abwärts gezogenener Körper auf seine Unterlage ausübt (siehe Definition 5a).

Anmerkung 6a. Die Gewichtseinheit ist das Gewicht, der Druck, der Masse von $\frac{1}{g}$ Kilogramm, denn: ein Kilogramm wird von der Erde mit der Kraft g angezogen, woraus sich ergibt, dass der Druck eines Kilogramms auf seine feste Unterlage nicht gleich der Gewichtseinheit sein kann, sondern es wird die Gewichtseinheit gleich dem Drucke einer Masse von $\frac{1}{g}$ Kilogramm sein.

Anmerkung 7a. Die Beschleunigung g bedeutet die in die Beschleunigungseinheit ausgedrückte Anziehungskraft der Erde und zwar an dem Orte, wo das Gewicht gemessen wird.

Anmerkung 8a. Nach dieser Definition der Gewichtseinheit ist dieselbe z. B. in Paris nicht gleich dem Gewichte von 1 Kilogr., sondern von $\frac{1}{g} = \frac{1}{9{,}808} = 0{,}102$ Kilogr.

7). Masseneinheit, d. i. die Masse eines Körpers, welcher durch die eine Sekunde lang wirkende Krafteinheit die Beschleunigungseinheit erteilt wird, bezw. welche unter dem Drucke (dem Gewichte) eines Kilogramms in der Sekunde die Beschleunigungseinheit erhält.

Anmerkung 9. Die Masse m eines Körpers wird in der Mechanik durch den Quotienten $p : g$ gemessen (siehe Erkl. 448), d. i. Gewicht (Druck, Zug oder Kraft) durch die Beschleunigung g der Schwerkraft der Erde; hieraus ergibt sich, dass die Masseneinheit die Masse eines Körpers von dem Gewichte g Kilogramme ist (bezw. gleich der Masse ist, welche auf ihre feste Unterlage einen Druck von g Druckeinheiten ausübt), d. h. der Körper, welcher die Masseneinheit repräsentiert, muss auf seine Unterlage ebensoviel Druckeinheiten ausüben, als er an demselben Orte Beschleunigungseinheiten bei freiem Fall zeigt.

7a). Masseneinheit, d. i. diejenige Masse, welche in einem Kubikdezimeter Wasser grösster Dichte bei der Temperatur des schmelzenden Eises enthalten ist, d. i. also die Masse eines Kilogramms (bezw. des in Paris aufbewahrten Platinkilogrammetalons) und wird infolgedessen auch Kilogramm genannt.

Anmerkung 9a. In dem absoluten Masssystem bedeutet der Name: „Kilogramm" weder Gewicht noch Kraft, sondern eine Masse.

Anmerkung 9b. Bei einer Vergleichung der absoluten und der irdischen Masseneinheit ergibt sich, wie in der Anmerkung 5a gezeigt wurde, dass die absolute Masseneinheit $G = (9{,}808)$ mal kleiner ist als die irdische.

Anmerkung 10. Sollen Grössen, welche nach dem irdischen Masssystem gemessen sind, in solche nach absolutem Mass umgewandelt werden, so hat man erstere mit der Beschleunigung g des Orts (bezw. mit der Beschleunigung $G = 9{,}808$ zu Paris) zu multiplizieren. Bei dem umgekehrten Verfahren hat man durch diese Grösse zu dividieren.

Anmerkung 11. Von den erwähnten Masseinheiten kann man nach dem Dezimalsystem beliebige Unterabteilungen machen, statt Meter und Kilogramm kann man Centimeter und Gramm, oder Millimeter und Milligramm zu Grunde legen.

Anmerkung 12. Das irdische Masssystem ist das bisher in der Praxis übliche. Das absolute Masssystem, welches einige wesentliche Vorteile gegen das irdische zeigt (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik), wird bis jetzt fast nur bei den magnetischen und elektrischen Messungen angewandt.

Erkl. 508. Im nachstehenden sind die Definitionen der magnetischen Masseinheiten nach dem absoluten und auch nach dem irdischen Masssystem gegeben, dabei sind diesen Masssystemen nach dem Vorgange von *Gauss* als Längeneinheit das Millimeter $\left(= \frac{1}{1000}\ \mathrm{m}\right)$, als Gewichtseinheit das Milligramm $\left(= \frac{1}{1000000}\ \mathrm{kg}\right)$ und als Zeiteinheit die Sekunde zu Grunde gelegt.

Frage 179. Wodurch wird die Grösse der magnetischen Kraft gemessen und was versteht man unter der magnetischen Krafteinheit nach absolutem Masssystem und was nach dem sogen. irdischen Masssystem?

Antwort. Da jede Grösse durch eine andre gleichartige Grösse, welche ein für allemal als Einheit angenommen, gemessen wird, so wird auch die Grösse der magnetischen Kraft durch eine andre als Einheit angenommene magnetische Kraft gemessen.

Wie nun in der Mechanik, bei Anwendung des absoluten Masssystems (siehe Erkl. 507), als Krafteinheit diejenige Kraft, welche die Zeiteinheit gleich fortwirkend, der Masseneinheit die Längeeinheit als Beschleunigung erteilt, angenommen wird, so nimmt man auch in der Theorie des Magnetismus, bei welcher man es auch mittels Anziehung und Abstossung in Bewegung gesetzter Massen zu thun hat, als Einheit der magnetischen Kraft diejenige magnetische Kraft an, welche die Zeiteinheit gleich fortwirkend, der Masseneinheit (siehe Antwort der folgenden Frage und Erkl. 513) die Längeneinheit als Beschleunigung erteilt.

Wie ferner in der Mechanik, bei Anwendung des sogen. irdischen Masssystems (siehe Erkl. 507), als Krafteinheit die sogen. Druckeinheit, d. i. der Druck, welchen die Gewichtseinheit auf ihre feste Unterlage (auf der Pariser Sternwarte) ausübt, angenommen wird, so kann in analoger Weise als Ein-

Erkl. 509. In der Mechanik ist es bis jetzt im allgemeinen üblich, das irdische Masssystem anzuwenden und hierbei als Zeiteinheit die Sekunde, als Längeneinheit das Centimeter (selten das Meter und noch seltener das Millimeter) und als Gewichtseinheit das Gramm (selten das Kilogramm und noch seltener das Milligramm) anzunehmen (siehe Erkl. 510).

Dementsprechend muss bei diesbezüglichen Berechnungen die Beschleunigung g, welche einem Körper durch die Schwerkraft der Erde pro Sekunde erteilt wird, in Centimeter (bezw. in Meter oder Millimeter), und die Masse dieses Körpers, welche durch den Quotienten $p:g$, d. i. Kraft durch Beschleunigung (siehe Erkl. 448, Seite 170, und Anmerk. 8) bestimmt wird, in Gramme (bezw. in Kilogramme oder Milligramme) ausgedrückt werden (siehe Erklärung 510).

Erkl. 510. Die Beschleunigung g, welche einem (im luftleeren Raum) frei fallenden Körper infolge der Anziehungskraft der Erde in der Sekunde erteilt wird, ist an verschiedenen Orten der Erde verschieden.

Für das mittlere Europa beträgt

$$g = 981{,}163\ \mathrm{mm} = 98{,}1163\ \mathrm{cm} = 9{,}8116\ \mathrm{m}$$

Am Aequator beträgt

$$g = 9{,}7803\ \mathrm{m}$$

und an den Polen beträgt

$$g = 9{,}8314\ \mathrm{m}$$

Erkl. 511. Die Beschleunigung, welche einem (im luftleeren Raum) frei fallenden Körper infolge der Anziehungskraft der Erde in der

Sekunde erteilt wird, beträgt für Paris $G = 9{,}808$ m. Dieser Wert ist insofern bei Benützung des irdischen Masssystems von Wichtigkeit, als auf Paris die in der Erkl. 507 definierten Einheiten des irdischen Masssystems bezogen sind.

Erkl. 512. Bei der Anwendung des absoluten Masssystems zur Messung kleiner magnetischer Kräfte legte *Gauss* als Zeiteinheit die Sekunde, als Längeneinheit das Millimeter und als Gewichtseinheit das Milligramm zu Grunde.

Erkl. 513. In Rücksicht der in der Erkl. 512 angegebenen Einheiten versteht man nach nebenstehender Antwort unter der magnetischen Krafteinheit, bei Zugrundelegung des absoluten Masssystems, diejenige magnetische Kraft, welche eine Sekunde gleich fortwirkend der magnetischen Masseneinheit eine Beschleunigung von 1 mm erteilt.

Erkl. 514. In Rücksicht der in der Erkl. 512 angegebenen Einheiten versteht man nach nebenstehender Antwort unter der magnetischen Krafteinheit, bei Zugrundelegung des irdischen Masssystems diejenige Kraft, welche auf die magnetische Masseneinheit eine Wirkung hervorbringt, die gleich ist dem Drucke (Gewichte) von 1 Milligramm auf der Pariser Sternwarte.

Erkl. 515. Aus den Erkl. 513 und 514 ergibt sich, da jedem Körper, also auch 1 Milligramm, auf der Pariser Sternwarte infolge der Anziehungskraft der Erde eine Beschleunigung G (= 9,808, siehe Erkl. 511) erteilt wird, dass die magnetische Krafteinheit, definiert unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems G (= 9,808) mal kleiner ist, als die magnetische Krafteinheit, definiert unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems (siehe Erklärung 507, Anmerkung 5[a]).

heit der magnetischen Kraft diejenige magnetische Kraft angenommen werden, welche auf die magnetische Masseneinheit (siehe Antw. der folgenden Frage und Erkl. 516) eine Wirkung hervorbringt, die gleich ist jener Druckeinheit.

Frage 180. Was versteht man unter der magnetischen Masseneinheit, bezw. unter der Einheit des freien Magnetismus?

Erkl. 516. Mit Benutzung der in der Erklärung 513 gegebenen Definition der magnetischen Krafteinheit für die von *Gauss* angenommenen speziellen Zahlenwerte gestaltet sich die Definition der magnetischen Masseneinheit unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems wie folgt:

Die magnetische Masseneinheit, bezw. die Einheit des freien Magnetismus ist diejenige Menge freien Magnetismus, welche aus der Entfernung von 1 mm auf eine andre gleich grosse Menge freien Magnetismus wirkend eine Kraft erzeugt, welche eine Sekunde gleich

Antwort. Nach der in der Erkl. 477, Seite 186, aufgestellten Relation hat man für die magnetische Kraft p, mit welcher zwei Mengen m und m_1 freien Magnetismus aus der Entfernung r aufeinanderwirken, die Relation:

$$p = \frac{m \cdot m_1}{r^2} \left(\text{bezw.} = -\frac{m \cdot m_1}{r^2}\right)$$

Hieraus ergibt sich die magnetische Krafteinheit, d. h. es wird $p = 1$, wenn $m = 1$, $m_1 = 1$ und $r = 1$ gesetzt wird, und dieser Beziehung entsprechend nimmt man als Einheit des freien

fortwirkend der letzteren Masse eine Beschleunigung von 1 mm erteilt.

Magnetismus, bezw. als die Einheit der Menge oder Masse desselben, diejenige Menge an, welche aus der Entfernung Eins auf eine andre gleich grosse Menge oder Masse freien Magnetismus wirkend eine Kraft erzeugt, die gleich der Krafteinheit ist.

Legt man der Definition der Krafteinheit das absolute Masssystem zu Grunde (siehe vorige Antw.), so gestaltet sich die Definition der magnetischen Masseneinheit, bezw. der Einheit des freien Magnetismus, wie folgt:

Die Einheit des freien Magnetismus ist diejenige Menge freien Magnetismus, welche aus der Entfernung Eins auf eine andre gleich grosse Menge freien Magnetismus wirkend, eine Kraft erzeugt, welche, die Zeiteinheit gleich fortwirkend, der letzteren Masse die Längeneinheit als Beschleunigung erteilt.

Legt man hingegen der Definition der Krafteinheit das irdische Masssystem zu Grunde (siehe vorige Antwort), so gestaltet sich die Definition der magnetischen Masseneinheit, bezw. der Einheit des freien Magnetismus, wie folgt:

Die Einheit des freien Magnetismus ist diejenige Menge freien Magnetismus, welche aus der Entfernung Eins auf eine andre gleich grosse Menge freien Magnetismus wirkend, eine Wirkung hervorbringt, die gleich ist der Druckeinheit.

Erkl. 517. Mit Benutzung der in der Erklärung 514 gegebenen Definition der magnetischen Krafteinheit für die von *Gauss* angenommenen speziellen Zahlenwerte gestaltet sich die Definition der magnetischen Masseneinheit unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems wie folgt:

Die magnetische Masseneinheit, bezw. die Einheit des freien Magnetismus ist diejenige Menge freien Magnetismus, welche aus der Entfernung von 1 mm auf eine andre gleich grosse Menge freien Magnetismus wirkend, eine Kraft erzeugt, welche gleich ist dem Druck (Gewicht) von 1 Milligramm auf der Pariser Sternwarte.

Erkl. 518. Aus dem bereits in der Erkl. 515 angeführten Grunde ergibt sich, dass die in der Erkl. 516 unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems definierte Einheit des freien Magnetismus $= G$ mal, bezw. $=$ 9,808 mal kleiner ist, als die in der Erkl. 517 unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems definierte Einheit des freien Magnetismus.

Frage 181. Was versteht man unter der Einheit des magnetischen Moments?

Antwort. Unter dem magnetischen Moment M versteht man nach Antwort der Frage 162 das Produkt aus der Menge m des in jedem der magnetischen Pole angehäuft zu denkenden freien Magnetismus in die Entfernung L der beiden Pole, nämlich das Produkt $m.L$.

Als Einheit des magnetischen Moments eines Magnetstabs nimmt man das

Erkl. 519. Da das Drehungsmoment D, welches eine an einem Hebelarm senkrecht zu demselben wirkende Kraft E ausübt, gleich dem Produkte aus dieser Kraft E und der Länge a des Hebelarms ist (siehe Erkl. 416), also die Relation besteht:

$$D = E.a$$

so ist für den Fall, dass die Länge a des

Hebelarms = Eins wird, das Drehungsmoment D an Wert gleich der Grösse der Kraft E.

Hieraus ergibt sich, dass das Drehungsmoment = Eins wird, wenn die an dem Hebelarm = Eins zu demselben senkrecht wirkende Kraft = der Krafteinheit ist.

Legt man nunmehr der Definition der Krafteinheit das absolute Masssystem (siehe Erklärung 507) zu Grunde, so ergibt sich, dass die Einheit des Drehungsmoments, welches eine an einem Hebelarm = Eins senkrecht zu demselben wirkende Kraft ausübt, gleich der Kraft ist, welche der in dem Angriffspunkt derselben konzentriert zu denkenden Masseneinheit des Hebels die Beschleunigungseinheit erteilt.

Legt man der Definition der Krafteinheit das irdische Masssystem (siehe Erkl. 507) zu Grunde, so ergibt sich, dass die Einheit des Drehungsmoments, welches eine an einem Hebelarm = Eins senkrecht zu demselben wirkende Kraft ausübt, gleich dem Druck (Gewicht) ist, welchen die in dem Angriffspunkt desselben konzentriert zu denkende Masseneinheit des Hebels ausübt. Da letztere gleich der Druckeinheit ist, so ist auch die Einheit des Drehungsmoments gleich der Druckeinheit wirkend am Hebelarm Eins.

Erkl. 520. Mit Benutzung der vorstehenden allgemeinen Erkl. 519 ergibt sich, dass das Drehungsmoment D, welches die erdmagnetische Kraft (die Direktionskraft) auf eine um 90° aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetnadel ausübt = Eins wird, wenn die auf den um die Längeneinheit von der Drehaxe abstehenden magnetischen Pol der Magnetnadel wirkende magnetische Kraft gleich der Einheit der erdmagnetischen Kraft, bezw. der Direktionskraft ist.

Legt man nunmehr der Definition der magnetischen Krafteinheit das absolute Masssystem (siehe Erkl. 507) zu Grunde, so ergibt sich, dass die Einheit des Drehungsmoments, welches die erdmagnetische Kraft auf eine um 90° aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetnadel ausübt, gleich ist der Kraft, welche, eine Sekunde gleich fortwirkend, der in dem Angriffspunkt (dem Pole) derselben konzentriert zu denkenden magnetischen Masseneinheit (Einheit des freien Magnetismus) die Beschleunigungseinheit erteilt.

Legt man der Definition der magnetischen Krafteinheit das irdische Masssystem (siehe Erkl. 507) zu Grunde, so ergibt sich, dass die Einheit des Drehungsmoments, welches die erdmagnetische Kraft auf eine um 90° aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetnadel ausübt, gleich ist dem Druck, welchen die in dem Angriffspunkt (dem Pole) derselben

magnetische Moment eines solchen Stabes an, dessen Länge L = Eins ist und der an den Enden die in voriger Antwort definierte Einheit des freien Magnetismus enthält, denn in diesem Falle ergibt sich aus der Relation:

$$M = m \cdot L$$

für $m = 1$ und $L = 1$, auch $M = 1$.

Legt man der Definition der Einheit des freien Magnetismus das absolute Masssystem zu Grunde (siehe vorige Antwort), so gestaltet sich die Definition der Einheit des magnetischen Moments wie folgt:

Als Einheit des magnetischen Moments eines Magnetstabs nimmt man das magnetische Moment eines solchen Stabes an, dessen Länge = Eins ist und der an jedem Ende eine solche Masse freien Magnetismus enthält, die in der Entfernung Eins auf eine andre gleich grosse Masse freien Magnetismus wirkend, eine Kraft erzeugt, welche, die Zeiteinheit gleich fortwirkend, der letzteren Masse die Längeneinheit als Beschleunigung erteilt.

Legt man der Definition der Einheit des freien Magnetismus das irdische Masssystem zu Grunde (siehe vorige Antwort), so gestaltet sich die Definition der Einheit des magnetischen Moments wie folgt:

Als Einheit des magnetischen Moments eines Magnetstabs nimmt man das magnetische Moment eines solchen Stabes an, dessen Länge = Eins ist und der an jedem Ende eine solche Masse freien Magnetismus enthält, welche aus der Entfernung Eins auf eine andre gleich grosse Masse freien Magnetismus wirkend, eine Wirkung hervorbringt, die gleich der Druckeinheit ist.

Diese Definitionen der Einheit des magnetischen Moments sind im allgemeinen zulässig, entbehren jedoch insofern noch der Vollständigkeit, als in denselben von den Wirkungen einfacher magnetischer Massen aufeinander die Rede ist, solche aber in der Praxis nicht existieren. Zu einer diesbezüglichen besseren Definition gelangt man auf folgende Weise:

Wirkt ein Magnetstab, dessen magnetisches Moment = M sei, aus der

ben konzentriert zu denkende magnetische Masseneinheit (Einheit des freien Magnetismus) ausübt. Da letztere gleich der Druckeinheit ist, so ist auch die Einheit des gedachten Drehungsmoments gleich der Druckeinheit wirkend am Hebelarm Eins.

Erkl. 521. Nach der in nebenstehender Antwort gegebenen Definition der Einheit des magnetischen Moments und der in der Erkl. 520 gegebenen Definition der Einheit des Drehungsmoments, welches die erdmagnetische Kraft (die Direktionskraft) auf einen um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten, die Einheit des magnetischen Moments besitzenden Magnetstab ausübt, kann man die in Antwort der Frage 180 gegebene Definition der Einheit des freien Magnetismus wie folgt umgestalten und sagen:

Der Magnetstab besitzt die Einheit des freien Magnetismus, dessen Länge = der Längeneinheit ist und auf einen andern gleichgrossen Magnetstab aus der Entfernung Eins, in der durch die Figur 148 dargestellten sogen. zweiten Hauptlage wirkend, letzterem ein auf diese Längeneinheit reduziertes Drehungsmoment = Eins erteilt (siehe Erklärung 522).

Erkl. 522. Nach der in nebenstehender Antwort gegebenen Definition des magnetischen Moments ergibt sich umgekehrt, dass das Drehungsmoment gleich der Einheit des reduzierten Drehungsmoments ist, welches ein mit der Einheit des magnetischen Moments begabter Magnetstab hervorbringt, wenn derselbe aus der Entfernungseinheit auf einen gleichen, bezw. auf einen gleich grossen und gleich stark magnetisierten Magnetstab in der durch die Figur 148 dargestellten sogen. zweiten Hauptlage wirkt.

In Rücksicht der in der Erkl. 520 definierten Einheit des Drehungsmoments ergibt sich hiernach: Die Einheit des reduzierten Drehungsmoments ist gleich der Wirkung der Kraft, welche aus der Entfernung 1 (1 mm) eine Sekunde gleich fortwirkend auf die Einheit des freien Magnetismus eines Magnetstabs, welcher im Abstande Eins (1 mm) von der Drehaxe die Einheit des freien Magnetismus besitzt und um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, jener magnetischen Masseneinheit die Beschleunigungseinheit (1 mm) erteilt (siehe Erkl. 513).

Entfernung r auf eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel, deren magnetisches Moment M_1 ist, in der durch die Figur 148 dargestellten sogenannten zweiten Hauptlage und bedeutet u den Winkel, um welchen infolgedessen die Magnetnadel aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkt wird, so besteht nach Antwort der Frage 177 und der Erkl. 503 zwischen diesen Grössen, wenn das Drehungsmoment, welches die erdmagnetische Kraft (Direktionskraft) auf die um 90° aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetnadel ausübt, mit D bezeichnet wird, die Relation:

a). $$\frac{M \cdot M_1}{D} = r^3 \cdot tg\,u$$

Für den Fall nun, dass das magnetische Moment M_1 der Magnetnadel $= 1$, die Entfernung $r = 1$, das Drehungsmoment $D = 1$ wird, und auch der Wert für $tg\,u$, d. i. das auf jene Entfernungseinheit $r = 1$ reduzierte Drehungsmoment, welches der Magnetstab auf die mit der Einheit des magnetischen Moments begabte Magnetnadel ausübt, $= 1$ wird, ergibt sich aus vorstehender Relation a).:

$$\frac{M \cdot 1}{1} = 1 \quad \text{oder}$$

b). $M = 1$

und man kann sagen:

Die Einheit des magnetischen Moments eines Magnetstabs ist gleich dem magnetischen Moment eines andern Stabs, welchem bei einer Ablenkung von 90° aus seinem magnetischen Meridian von der erdmagnetischen Kraft, bezw. von der Direktionskraft ein Drehungsmoment = Eins (siehe Erkl. 520) erteilt wird, und welchem von jenem Stab in der durch die Figur 148 dargestellten sogenannten zweiten Hauptlage aus der Entfernung 1 ein auf diese Entfernungseinheit reduziertes Drehungsmoment = Eins erteilt wird.

p). Ueber die spezielle Bedeutung des Trägheits-, des Drehungs- und des magnetischen Moments eines Magnetstabs.

Frage 182. Was bedeutet das Trägheitsmoment K eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs in Rücksicht der in vorigem Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen?

Antwort. Um sich nach den im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen die Bedeutung des Trägheitsmoments K eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs klar zu machen, geht man am besten von bestimmten Zahlenwerten aus.

So findet man für den durch die Figur 141 dargestellten Magnetstab, welchen *Weber* bei seinen Experimenten in Göttingen anwandte, für das Trägheitsmoment K desselben den Wert:

1). $K = 12673$ (siehe Erkl. 523)

d. h., nach der Erkl. 465, das Trägheitsmoment K des Magnetstabs ist gleich dem Trägheitsmoment von 12673 Masseneinheiten, welche man sich in der Entfernung Eins = 1 mm (siehe Erkl. 522) von der Drehaxe in einem Punkt konzentriert zu denken hat.

Legt man nunmehr der Definition der Masseneinheit das absolute Masssystem (siehe Erkl. 516) zu Grunde, so gestaltet sich die Deutung des Trägheitsmoments K wie folgt:

Das Trägheitsmoment K des Magnetstabs ist gleich dem Trägheitsmoment der Masse von

12673 Milligramm
(siehe Erkl. 516 und Anmerkung 11 der Erkl. 507)

welche man sich in der Entfernung von 1 mm von der Drehaxe wirkend zu denken hat.

Drückt man ferner noch die Wirkung dieser 12673, unter dem Einfluss der Schwerkraft stehenden, am Hebelarm 1 mm wirkenden Milligramme in die absolute Krafteinheit (nämlich unabhängig von dem Einfluss der Schwerkraft) aus, indem man berücksichtigt, dass jedem Milligramm, welches unter dem Einfluss der Schwerkraft der Erde steht, die Beschleunigung $g = 9811{,}63$ mm pro Sekunde erteilt wird (siehe Erkl. 523[a]), so ergibt sich hiernach, dass die Wirkung der unter dem Einfluss der Schwere

Erkl. 523. Wie in der Erkl. 463 erwähnt, findet man das Trägheitsmoment K des Magnetstabs, welchen *Weber* bei seinen Versuchen in Göttingen benutzte, mittels der Formel 19).:

$$1).\;\ldots\; K = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g}$$

Da nun die Länge l jenes Magnetstabs = 101 mm, die Breite und auch die Höhe b = 17,5 mm, das Gewicht p desselben = 142 Milligramm betrug und für die beschleunigende Kraft g der Erde der Wert:

$$g = 9811{,}63 \text{ mm}$$

gefunden wurde (siehe Erkl. 523[a]), so ergibt sich aus der Gleichung 1).:

$$K = \frac{101^2 + 17{,}5^2}{12} \cdot \frac{142}{9811{,}63}$$

oder:

$$2).\;\ldots\; K = 12672{,}9 = 12673$$

Erkl. 523[a]. Für die Länge l des Sekundenpendels wurde in Göttingen der Wert:

$$l = 994{,}126 \text{ mm}$$

gefunden, wonach sich mittels der Formel:

$$t = \pi \,.\, \sqrt{\frac{l}{g}}$$

(siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik, Abschnitt: Die Pendelgesetze)

wenn in derselben $t = 1''$, $l = 994{,}126$ mm und $\pi = 3{,}141$ gesetzt wird, die beschleunigende Kraft g der Erde in Göttingen berechnen lässt. Man erhält:

$$g = 9811{,}63 \text{ mm}$$

stehenden 12673 Milligramm durch die Wirkung von $12673 . g = 12673 . 9811{,}63 = 124341500$ absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend, bezw. durch die Wirkung von $12673 . 9811{,}63 = 124341500$ Milligramm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben und dabei am Hebelarm 1 mm wirkend zu denken sind, ersetzt werden kann, und man kann sagen:

a). Das Trägheitsmoment $K = 12673$ eines Magnetstabs bedeutet, unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems (siehe Erkl. 507), nichts anderes als, dass der von seinem magnetischen Meridian abgelenkte, durch die Figur 141 dargestellte Magnetstab der beschleunigenden Kraft des Erdmagnetismus (der Direktionskraft) einen Widerstand entgegensetzt, der gleich der Wirkung von $12673 . g = 12673 . 9811{,}63 = 124341500$ absolute Krafteinheiten an dem Hebelarm 1 mm wirkend, bezw. gleich der Wirkung derselben Anzahl von Milligrammen ist, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben und am Hebelarm 1 mm wirkend zu denken sind.

Drückt man hingegen die Wirkung der 12673, unter dem Einfluss der Schwere stehenden, am Hebelarm 1 mm wirkenden Milligramm in die irdische Krafteinheit aus, siehe Erkl. 507, so gestaltet sich die Deutung des Trägheitsmoments $K = 12673$ direkt wie folgt:

b). Das Trägheitsmoment $K = 12673$ des durch die Figur 141 dargestellten Magnetstabs bedeutet, unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems, nichts anderes als dass der von seinem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstab der beschleunigenden Kraft des Erdmagnetismus (der Direktionskraft) einen Widerstand entgegensetzt, der gleich ist dem Druck von 12673 am Hebelarm 1 mm wirkenden irdischen Krafteinheiten (hier gleich dem Druck von 12673 Milligramm), bezw. der gleich

Erkl. 524. Aus den nebenstehenden Definitionen unter a). und b). ergibt sich, dass die Masszahl des Trägheitsmoments in absolute Krafteinheiten ausgedrückt g mal, bezw. 9811,63-mal grösser ist als die Masszahl desselben in irdische Krafteinheiten ausgedrückt (siehe Erklärung 507).

Erkl. 525. Bei den Versuchen, welche *Gauss* am 11. Sept. 1832 in Göttingen mit dem durch die Figur 140 dargestellten Magnetometerstab anstellte, wurde das Trägheitsmoment K desselben aus der Formel 18).:

$$1). \quad . \; . \; . \quad K = 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2} \cdot t^2$$

(siehe Antwort der Frage 169)

berechnet, indem für die Schwingungsdauer t des Magnetstabs ohne Anhängung der Gewichte p

$$t = 15{,}25''$$

für die Schwingungsdauer t_1 nach Anhängung der Gewichte p von je = 103,257 Gramm = 103257 Milligramm in der Entfernung r_1 = 180 mm

$$t_1 = 24{,}66''$$

für die Schwingungsdauer t_2 nach Anhängung derselben Gewichte p, aber in der Entfernung r_2 = 130 mm

$$t_2 = 20{,}79''$$

und für die Beschleunigung

$$g = 9811{,}63$$

(siehe Erklärung 523a)

gefunden wurde. Man fand:

$$2). \quad . \; . \; . \quad K = 431149$$

welcher Wert wie nebenstehend unter a). und b). angegeben zu definieren ist.

ist der Wirkung von 12673 Druckeinheiten (Milligramm), welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben und am Hebelarm von 1 mm wirkend zu denken sind.

Frage 183. Was bedeutet in Rücksicht der im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen das Drehungsmoment D, welches die erdmagnetische Kraft auf einen um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab ausübt?

Antwort. Um sich die Bedeutung des in Rede stehenden Drehungsmoments D, in Rücksicht der im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen klar zu machen, geht man wiederum am besten von bestimmten Zahlenwerten aus.

Bei dem in voriger Antwort erwähnten *Weber*schen Experiment wurde für die Schwingungsdauer t des durch die Figur 141 dargestellten Magnetstabs, dessen Trägheitsmoment K nach der Erkl. 523

$$K = 12673$$

ist, der Wert

$$t = 6{,}67''$$

gefunden. Für das Drehungsmoment D dieses Magnetstabs ergibt sich somit nach der Formel 15:

$$D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

der Wert:

1). $D = 2811{,}2$

Nach der in voriger Antwort unter a). gegebenen Definition des Trägheitsmoments K gestaltet sich unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems die Definition des Drehungsmoments $D = 2811{,}2$ wie folgt:

a). Das Drehungsmoment $D = 2811{,}2$, welches die erdmagnetische Kraft (die Direktionskraft) auf den durch die Figur 141 dargestellten, um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt, ist unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems gleich der Wirkung von 2811,2 unter dem Einfluss der Schwerkraft stehenden Milligrammen an dem Hebelarm 1 mm wirkend, oder bei Einführung der absoluten

Erkl. 526. Aus nebenstehenden Definitionen a). und b). ergibt sich, dass die Masszahl des Drehungsmoments in absolute Krafteinheiten ausgedrückt g mal, bezw. 9811,63 mal grösser ist als die Masszahl desselben in irdische Krafteinheiten ausgedrückt (siehe Erkl. 507 und 524).

Krafteinheit, gleich der Wirkung von 2811,2 . g = 2811,2 . 9811,63 = 27582454 absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend, bezw. gleich der Wirkung derselben Anzahl von Milligrammen, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben und am Hebelarm 1 mm wirkend zu denken sind.

Nach der in voriger Antwort unter b). gegebenen Definition des Trägheitsmoments K gestaltet sich die Definition des Drehungsmoments D, unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems, wie folgt:

b). Das Drehungsmoment D = 2811,2, welches die erdmagnetische Kraft (die Direktionskraft) auf den durch die Figur 141 dargestellten, um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt, ist unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems gleich dem Druck von 2811,2 am Hebelarm 1 mm wirkenden irdischen Krafteinheiten (hier Milligramme), bezw. gleich der Wirkung dieser am Hebelarm 1 mm wirkenden 2811,2 Druckeinheiten (Milligramm), welche die Beschleunigung von 1 mm haben.

Erkl. 527. Für das in der Erkl. 525 erwähnte *Gauss*sche Experiment wurde die Schwingungsdauer

$$t = 15{,}25''$$

und das Trägheitsmoment K = 431149 (siehe Erkl. 525) gefunden, somit ergibt sich nach der Formel 15).:

$$D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

für das Drehungsmoment D:

$$D = 18308{,}9$$

was, wie nebenstehend unter a). definiert, gleich ist der Wirkung von 18308,9 . 9811,63 = 179640152 absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend.

Frage 184. Was bedeutet in Rücksicht der im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen das Drehungsmoment T, welches die erdmagnetische Kraft auf einen um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt, dessen magnetisches Moment = Eins ist?

Antwort. Um sich die Bedeutung des in Rede stehenden Drehungsmoments T, welches nach der in der Antwort der Frage 178 aufgestellten Formel:

$$1). \ldots T = \frac{\pi}{t} . \sqrt{\frac{K}{r^3 . tgu}}$$

berechnet werden kann, in Rücksicht der in vorigem Abschnitt gegebenen Einheitsdefinition klar zu machen, geht man wiederum am besten von bestimmten Zahlenwerten aus und berücksichtigt hierbei, dass vorstehende Formel, nach welcher T im allgemeinen berechnet werden kann aus den in der Antwort der Frage 178 enthaltenen Relationen 1). und 2).:

Erkl. 528. Für das Verhältnis $M:T$, bezw. für $r^3 . tgu$ erhält man einen bestimmten Zahlenwert, wenn man, wie in Antwort der Frage 177, bezw. in der Erkl. 503 angegeben ist, den durch die Figur 141 dargestellten *Weber*schen Magnetstab, dessen magnetisches Moment $= M$ ist, aus der Entfernung r in der durch die Figur 148 dargestellten sogen. zweiten Hauptlage auf eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel wirken lässt, deren magnetisches Moment = Eins ist, bezw. welche die Einheit des freien Magnetismus besitzt, und dann den Ablenkungswinkel u bestimmt. Die trigonometrische Tangens dieses Winkels multipliziert mit dem Kubus der Entfernung r gibt alsdann den entsprechenden Zahlenwert für $r^3 . tgu$, bezw. für den Quotienten $M . T$ [siehe nebenstehende Gleichung 3).].

Da jedoch hiernach eine Magnetnadel vorhanden sein müsste, deren magnetisches Moment = Eins ist, eine solche aber nach der in Antwort der Frage 181 und in der Erkl. 521 gegebenen Definition diejenige ist, welche einer andern, in der durch die Figur 148 dargestellten sogenannten zweiten Hauptlage aus der Entfernung Eins ein reduziertes Drehungsmoment = Eins erteilt, so ergibt sich, dass wenn, wie oben angegeben, der Magnetstab aus der Entfernung $r = 1$ auf die Magnetnadel wirkend gedacht wird, man einen Zahlenwert erhält, welcher ein Vielfaches (ein Bruchteil) der Einheit des reduzierten Drehungsmoments darstellt.

Da man ferner nach dem von *Weber* in Antwort der Frage 177 angegebenen Verfahren für das auf die Entfernungseinheit von 1 m reduzierte Drehungsmoment, d. i. der Grenzwert für $r^3 . tgu$, für alle Entfernungen r unter der Voraussetzung, dass diese Entfernungen r noch gross genug sind im Verhältnis zu den Dimensionen der Magnete,

$$x_1 = 1^3 . tgu_1 = 0{,}00876$$

(siehe Erkl. 503)

fand, mithin das auf die Entfernungseinheit von 1 mm reduzierte Drehungsmoment:

$$x_1 = 1000^3 . tgu_1 = 1000000000 . 0{,}00876 = 8760000$$

ist, so erhält man hiernach für den Quotienten $M:T$, unter der Voraussetzung, dass diese Relation auch noch für sehr kleine Entfernungen ihre Gültigkeit hat:

$$\frac{M}{T} = r^3 . tgu = 8760000 \text{ Einheiten}$$

des reduzierten Drehungsmoments, bezw. nach der Erkl. 522 8760000 Krafteinheiten wirkend am Hebelarm 1 mm.

2). . . . $M . T = D$

3). . . . $\frac{M}{T} = r^3 . tgu$

abgeleitet wurde.

Substituiert man in diese Gleichungen die mittels der erwähnten *Weber*schen Experimente bestimmten Werte für D und $r^3 . tgu$, nämlich einmal:

4). . . . für $D = 2811{,}2 . 9811{,}63$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend (siehe Antwort der vorigen Frage 183), und:

5). . . . für $r^3 . tgu = 8760000$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend (siehe Erkl. 528); ein andermal:

4_1). . . für $D = 2811{,}2$

irdische Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend (siehe Antw. der vorigen Frage 183), und:

5_1). . . für $r^3 . tgu = 8760000$

irdische Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend (siehe Erkl. 528), so erhält man einmal:

A). . . $\begin{cases} M . T = 2811{,}2 . 9811{,}63 \\ \frac{M}{T} = 8760000 \end{cases}$

aus welchen beiden Gleichungen sich durch Division:

$$T^2 = \frac{2811{,}2 . 9811{,}63}{8760000}$$

oder:

$$T = \sqrt{\frac{2811{,}2 . 9811{,}63}{8760000}}$$

mithin:

6). . . . $T = 1{,}774$

absolute Krafteinheiten, am Hebelarm 1 mm wirkend, ergibt.

Ferner erhält man das anderemal:

B). . . $\begin{cases} M . T = 2811{,}2 \\ \frac{M}{T} = 8760000 \end{cases}$

aus welchen beiden Gleichungen sich durch Division:

$$T^2 = \frac{2811{,}2}{8760000}$$

oder:

$$T = \sqrt{\frac{2811,2}{8760000}}$$ mithin:

7). . . . $T = 0,017914$

irdische Krafteinheiten, am Hebelarm 1 mm wirkend, ergibt.

Nach vorstehender Gleichung 6) kann man bei Zugrundelegung des absoluten Masssystems sagen:

a). Das Drehungsmoment T, welches die erdmagnetische Kraft aus der Entfernung von 1 mm auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab ausübt, der im Abstande 1 mm von der Drehaxe die Einheit des freien Magnetismus besitzt und um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt wird, ist unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems gleich der Wirkung von 1,774 absoluten Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend, bezw. ist gleich der Wirkung von 1,774 Milligramm am Hebelarm 1 mm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben.

Nach vorstehender Gleichung 7). kann man bei Zugrundelegung des irdischen Masssystems sagen:

b). Das Drehungsmoment T, welches die erdmagnetische Kraft aus der Entfernung von 1 mm auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab ausübt, der im Abstand 1 mm von der Drehaxe die Einheit des freien Magnetismus besitzt und um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt wird, ist unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems gleich der Wirkung von 0,017914 irdischen Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend, bezw. ist gleich dem Druck von 0,017914 Milligramm (Druckeinheiten) am Hebelarm 1 mm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben.

Erkl. 529. *Gauss* fand bei seinen Versuchen, siehe die Erkl. 525 und 527, für den Quotienten $\frac{M}{T}$, bezw. für den Grenzwert $r^3 . tgu$:

$$\frac{M}{T} = r^3 . tgu = 56606437$$

und für das Produkt $M . T = D$ nach genauen Berechnungen:

$$M . T = D = 179770600$$

und hieraus erhält man:

$$T = 1,782088$$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend.

Erkl. 530. Aus den nebenstehenden Definitionen unter a). und b). ergibt sich, dass die Masszahl des Drehungsmoments T, in absolute Krafteinheiten ausgedrückt

$$= \sqrt{g} \; (= \sqrt{9811,63} = 99,05) \text{ mal}$$

grösser ist als die Masszahl desselben in irdische Krafteinheiten ausgedrückt.

Frage 185. Was bedeutet das magnetische Moment M eines Magnetstabs in Rücksicht der im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen?

Antwort. Um sich die Bedeutung des magnetischen Moments M eines

Magnetstabs, welches nach der in Antwort der Frage 170 aufgestellten Formel 20:

$$1). \ldots M = m.L = \frac{D}{T}$$

berechnet werden kann, in Rücksicht der im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen klar zu machen, geht man am besten wiederum von bestimmten Zahlenwerten aus.

Substituiert man in diese Gleichung die mittels der erwähnten *Weber*schen Experimente bestimmten Werte für D und T, nämlich einmal:

2). für $D = 2811{,}2 . 9811{,}63$ und
3). für $T = 1{,}774$
} absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend;

ein andermal:

2_1). für $D = 2811{,}2$ und
3_1). für $T = 0{,}017914$
} irdische Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend;

so erhält man einmal:

$$A). \quad M = m.L = \frac{2811{,}2 . 9811{,}63}{1{,}774} = 15548170$$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend; ferner erhält man ein andermal:

$$B). \quad M = m.L = \frac{2811{,}2}{0{,}017914} = 156927{,}5$$

irdische Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend.

Nach vorstehender Gleichung A). kann man unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems sagen:

a). Das magnetische Moment M des *Weber*schen Magnetstabs, siehe Figur 144, ist unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems = der Wirkung von 15548170 absoluten Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend, bezw. ist gleich der Wirkung von 15548170 Milligramm am Hebelarm 1 mm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben.

Nach vorstehender Gleichung B). kann man unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems sagen:

Erkl. 531. Das magnetische Moment M eines Magnetstabs kann man auch mittels der in voriger Antwort aufgestellten Gleichungen 2). und 3).:

$$a). \ldots M.T = D$$

$$b). \ldots \frac{M}{T} = r^3 . tg u$$

bestimmen. Durch Multiplikation beider Gleichungen erhält man:

$$M^2 = D . r^3 . tg u$$

oder:

$$\text{Formel 25} \quad M = \sqrt{D . r^3 . tg u}$$

Erkl. 532. Für das magnetische Moment M des durch die Figur 140 dargestellten Magnetstabs, welchen *Gauss* bei seinen Experimenten verwandte, erhält man nach nebenstehender Gleichung 1).:

$$1). \ldots M = m.L = \frac{D}{T}$$

wenn nach der Erkl. 531:

$$a). \ldots D = 179770600$$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend, und nach der Erkl. 531:

$$b). \ldots T = 1{,}782088$$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend gesetzt wird:

$$M = m.L = \frac{179770600}{1{,}782088} = 100876331$$

absolute Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend.

b). Das magnetische Moment M jenes Magnetstabs ist unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems = dem Drucke von 156927,5 Druckeinheiten, Milligramme, am Hebelarm 1 mm wirkend.

Frage 186. Was versteht man unter dem freien Magnetismus eines Magnetstabs in Rücksicht der im vorigen Abschnitt gegebenen Einheitsdefinitionen?

Antwort. Ist die Länge L eines Magnetstabs gleich der Längeneinheit, und hat derselbe ein magnetisches Moment $M = m . L$, welches z. B. gleich dem magnetischen Moment des in voriger Antwort berechneten *Weber*schen Magnetstabs ist, so erhält man aus den in voriger Antwort aufgestellten Gleichungen A). und B).:

$$1). \ m = \frac{2811,2 . 9811,63}{1,774} = 15548170$$

bezw.

$$2). \ m = \frac{2811,2}{0,017914} = 156927,5$$

und man kann sagen:

a). Der freie Magnetismus m jenes Magnetstabs ist unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems gleich 15548170 absoluten Krafteinheiten, bezw. gleich der Wirkung von 15548170 Milligramm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben; oder:

b). Der freie Magnetismus m jenes Magnetstabs ist unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems gleich 156927,5 irdischen Krafteinheiten, bezw. gleich dem Druck von 156927,5 Druckeinheiten (hier Milligramme).

Erkl. 533. Wie in Antwort der Frage 170 und in den Antworten der Fragen 185 und 186 angegeben, kann man das magnetische Moment eines Magnetstabs (bezw. dessen freien Magnetismus, welcher eine sich durch Anziehung und Abstossung äussernde Kraft darstellt), durch die in der Mechanik übliche absolute oder irdische Krafteinheit ersetzen (bezw. in dieselben ausdrücken). Somit kann man auch das magnetische Moment eines Magnetstabs, bezw. dessen freien Magnetismus durch diese Krafteinheiten, wie vorstehend gezeigt, messen.

3). Ueber die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass.

Frage 187. Was hat man unter der Intensität des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte zu verstehen, wenn dieselbe nicht durch Vergleichung mit der Intensität des Erdmagnetismus an einem andern Orte, also nicht nach

relativem Mass, sondern wenn dieselbe unabhängig von der Intensität des Erdmagnetismus eines andern Ortes, also wenn sie nach absolutem Mass gemessen werden soll?

Antwort. Da die Intensität, die Stärke der erdmagnetischen Kraft, mit welcher sie einen in seinem Schwerpunkt frei aufgehängten Magnetstab in der von ihm einmal angenommenen Lage zu halten sucht, wie in den vorstehenden Abschnitten gezeigt wurde, auch abhängig ist von der Masse des sich in jenem Magnetstab äussernden freien Magnetismus, auf welche bei der Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach relativem Mass keine Rücksicht genommen zu werden braucht (siehe Antw. der Frage 133), so versteht man unter der Intensität des Erdmagnetismus, wenn dieselbe nicht in bezug auf die Intensität des Erdmagnetismus an einem andern Orte, sondern unabhängig, nach absolutem Mass, bestimmt werden soll, die Stärke der erdmagnetischen Kraft, mit welcher sie einen frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnetstab, dessen magnetisches Moment gleich Eins ist, bezw., welcher in dem Abstande Eins die Einheit des freien Magnetismus enthält, in der von ihm einmal eingenommenen Ruhelage zu halten sucht. (Man vergleiche hiermit die Antwort der Frage 129.)

Frage 188. Wodurch wird die in voriger Antwort definierte Intensität des Erdmagnetismus gemessen?

Antwort. Wie die Grösse, Stärke oder Intensität einer jeden Kraft durch deren Wirkung gemessen wird, so wird in analoger Weise die Intensität des Erdmagnetismus durch das Drehungsmoment gemessen, welches sie auf einen frei in seinem Schwerpunkt aufgehängten Magnetstab ausübt, der im Abstande Eins die Einheit des freien Magnetismus besitzt und welcher um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist.

Frage 189. Mittels welcher Relation kann man die Intensität, oder die sog. Totalintensität J aus der sog. Horizontalintensität i und der Grösse der Inklination ψ eines Ortes berechnen?

Antwort. Zwischen der sogen. Totalintensität J, der sogen. Horizontalintensität i und der Inklination ψ eines Ortes besteht, wie in Antwort der Frage 131,

Erkl. 534. In betreff der Berechnung des Wertes i und der Bedeutung dieses berechneten Werts siehe die Antwort der folgenden Frage 191, woraus sich die Bedeutung des entsprechenden Werts für J erkennen lässt.

In betreff der Bestimmung der Inklination ψ siehe den früheren Abschnitt 6).

mittels der Figur 122 gezeigt wurde, die Relation:

Formel 26 . . $J = \frac{i}{\cos\psi}$

wonach sich J berechnen lässt, wenn i und ψ bekannte Grössen sind (siehe Erkl. 534).

Frage 190. Was hat man unter der Horizontalintensität des Erdmagnetismus an einem bestimmten Orte zu verstehen und zwar in Rücksicht der in Antwort der Frage 187 gegebenen Definition der Totalintensität?

Antwort. Analog der Antwort der Frage 187 und in Rücksicht der in Antwort der Frage 131 gegebenen Definition der Horizontalintensität, hat man unter der Horizontalintensität des Erdmagnetismus die Stärke der erdmagnetischen Kraft zu verstehen, mit welcher sie einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab, dessen magnetisches Moment = Eins ist, bezw. welcher in dem Abstande Eins die Einheit des freien Magnetismus enthält, in der von ihm einmal angenommenen Ruhelage zu halten sucht.

Frage 191. Wodurch wird die in voriger Antwort definierte Horizontalintensität des Erdmagnetismus gemessen und auf welche Weise bestimmt?

Erkl. 535. Auf nebenstehend angegebene Weise wurde die magnetische Horizontalintensität in verschiedenen Städten bestimmt.

Man fand unter anderm:

für Berlin	im Jahre	1845 . . .	i = 1,780
„ Brüssel	„ „	1850 . . .	„ = 1,771
„ Dublin	„ „	1845 . . .	„ = 1,771
„ Freiburg	„ „	1850 . . .	„ = 1,934
„ Genf	„ „	1845 . . .	„ = 1,980
„ Göttingen	„ „	1845 . . .	„ = 1,785
„ Greenwich	„ „	1840 . . .	„ = 1,739
„ Kasan	„ „	1842 . . .	„ = 1,877
„ Lissabon	„ „	1858 . . .	„ = 2,210
„ London	„ „	1840 . . .	„ = 1,739
„ Moskau	„ „	1842 . . .	„ = 1,762
„ München	„ „	1850 . . .	„ = 1,925
„ Madrid	„ „	1858 . . .	„ = 2,172
„ Pest	„ „	1845 . . .	„ = 2,036
„ Paris	„ „	1858 . . .	„ = 1,876
„ Petersburg	„ „	1842 . . .	„ = 1,658
„ Palermo	„ „	1835 . . .	„ = 2,435
„ Wien	„ „	1850 . . .	„ = 1,995

Antwort. Analog der Antwort der Frage 188 wird die Horizontalintensität durch das Drehungsmoment gemessen, welches sie auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab ausübt, der im Abstande Eins die Einheit des freien Magnetismus besitzt und um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, denn in dieser Lage des Magnetstabs wirkt die horizontale Komponente des Erdmagnetismus, siehe Figur 122, welche die Horizontalintensität i des Erdmagnetismus repräsentiert, senkrecht zu der magnetischen Axe des Magnetstabs und das Drehungsmoment ist nach der Erkl. 519 = $i . 1$ bezw. = i, wirkend gedacht am Hebelarm Eins.

Da nun, wie in Antwort der Frage 178, gezeigt wurde, das Drehungsmoment, welches die erdmagnetische Kraft

Erkl. 536. Bei der Bestimmung der Horizontalintensität i sind nach nebenstehender Antwort, wie bei der Bestimmung der Grösse T [siehe Abschnitt n).], zwei getrennte Beobachtungen nötig, nämlich:

a). die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Deklinationsnadel bewirkt und

b). die Beobachtung der Schwingungszeit, welche der Ablenkungsstab unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht.

Erkl. 537. Bei der Bestimmung der Horizontalintensität i ist es nicht immer nötig, die beiden in vorstehender Erkl. angeführten Beobachtungen machen zu müssen; denn sind z. B. T und u die zusammengehörigen Werte der Horizontalintensität eines Ortes (siehe Formel 27), so hat man, wenn M das magnetische Moment des Ablenkungsstabs bedeutet, nach der Formel 23 die Beziehung:

1). $\frac{M}{T} = r^3 . tg u$

Geht man mit demselben zur Beobachtung der Ablenkung benutzten Instrument (wie z. B. mit dem *Lamont*schen Reisetheodolit, siehe folgende Antwort) an einen andern Ort, dessen Intensität T_1 ist, und beobachtet die Ablenkung u_1 daselbst, so erhält man:

2). $\frac{M}{T_1} = r^3 . tg u_1$

Aus den Gleichungen 1). und 2). erhält man durch Divisionen:

$$\frac{T_1}{T} = \frac{tg u}{tg u_1}$$

und hieraus erhält man die Formel:

Formel 28 . . $T_1 = T . \frac{tg u}{tg u_1}$

nach welcher man die Horizontalintensität T_1 (i_1), ohne Beobachtung der Schwingungen, nur aus der Beobachtung der Ablenkungswinkel bestimmen kann.

auf einen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab, der im Abstand Eins die Einheit des freien Magnetismus besitzt und um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, bestimmt werden kann und für dieselbe das allgemeine Zeichen T eingeführt wurde, so ergibt sich hieraus, dass die Masszahl der Horizontalintensität i gleich der Masszahl dieser Grösse T ist, man hat somit:

Formel 27 . . . $i = T$

In Rücksicht des in Antwort der Frage 184 mittels der *Weber*schen Experimente gefundenen Zahlenwerts für T ergibt sich sonach:

a). Die Horizontalintensität des Erdmagnetismus für Göttingen ist unter Zugrundelegung des absoluten Masssystems gleich der Wirkung von 1,774 absoluten Krafteinheiten, bezw. ist gleich der Wirkung von 1,774 Milligramm am Hebelarm 1 mm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben; und

b). Die Horizontalintensität des Erdmagnetismus für Göttingen ist unter Zugrundelegung des irdischen Masssystems gleich der Wirkung von 0,017914 irdischen Krafteinheiten, bezw. ist gleich dem Druck von 0,017914 Druckeinheiten, Milligramme, am Hebelarm 1 mm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben.

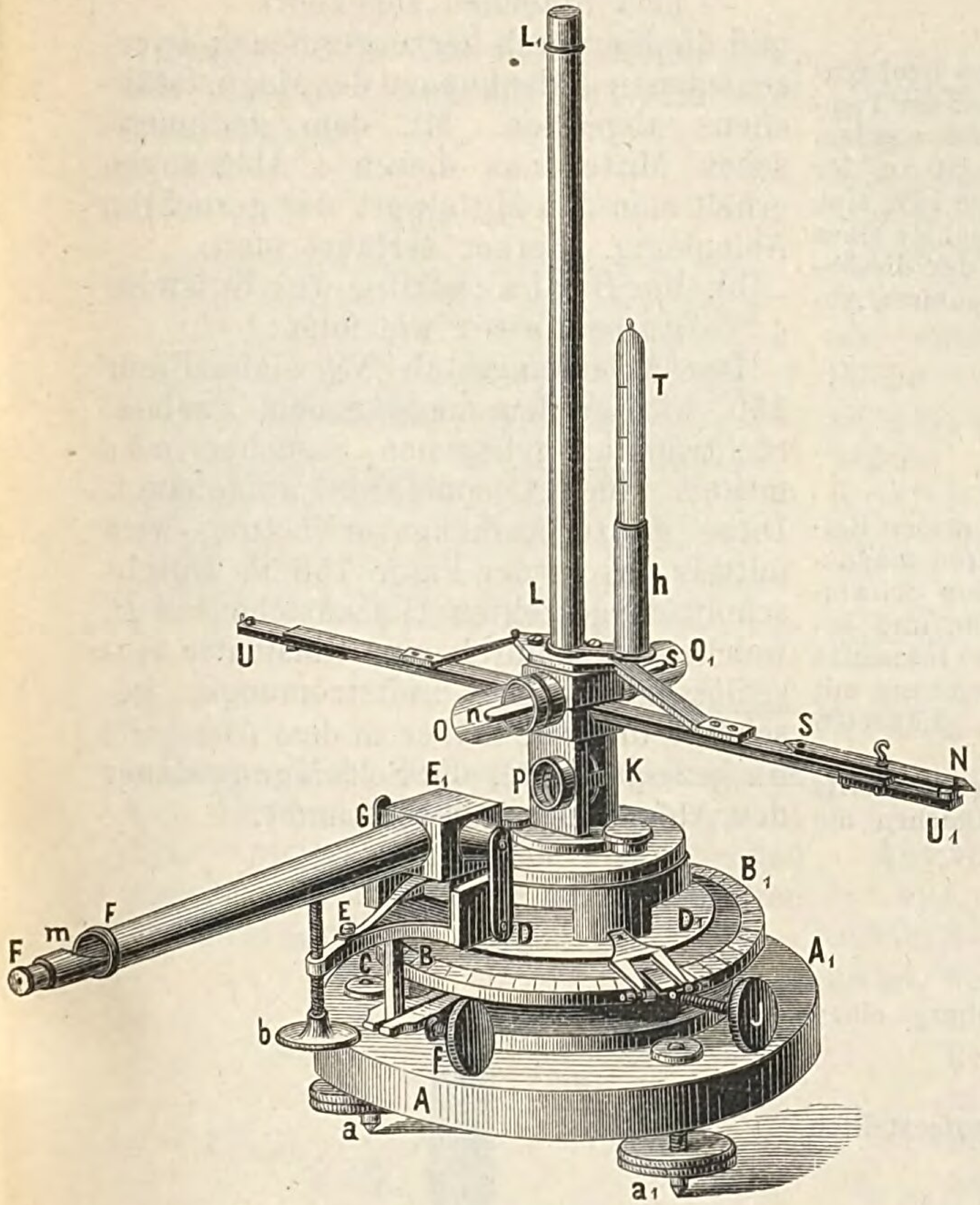
Frage 192. Auf welche Weise werden mittels des magnetischen Reisetheodolits von *Lamont* die zur Bestimmung der magnetischen Intensität erforderlichen Beobachtungen gemacht?

Antwort. Sollen mittels des in der Erkl. 264 bereits beschriebenen magnetischen Reisetheodolits von *Lamont* die zur Bestimmung der magnetischen Intensität erforderlichen Beobachtungen gemacht werden (siehe Erkl. 536), so verfährt man hierbei auf folgende Weise und zwar:

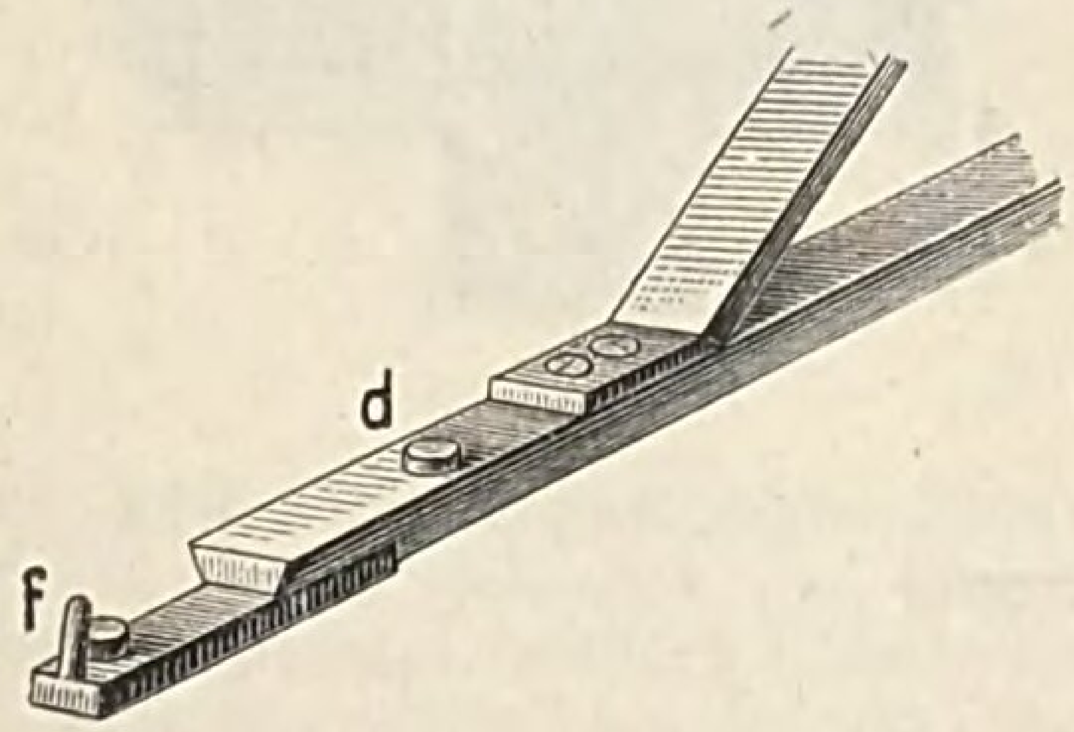
a). bei Beobachtung der Ablenkung:

Auf das Magnetgehäuse K des magnetischen Theodolits (siehe Figur 154),

Figur 154.



Figur 155.



wird eine sogenannte Ablenkungsschiene UU_1 aufgesetzt. Diese Ablenkungsschiene UU_1 ist 34 cm lang und dient dazu, um den auf das Magnetstäbchen des magnetischen Theodolits wirkenden Ablenkungsstab aufzunehmen. Die Einrichtung der Ablenkungsschiene ist derart, dass nach der Befestigung derselben ein auf sie gelegter Magnetstab (Ablenkungsstab) in gleicher Horizontalebene mit dem Magnetstäbchen des magnetischen Theodolits zu liegen kommt. Damit der Ablenkungsstab, welcher auf die Ablenkungsschiene gelegt wird und 8 cm lang ist, bei jeder Beobachtung in derselben Entfernung von dem Magnetstäbchen *ns* des magnetischen Theodolits zu liegen kommt, ist an jedem der beiden Enden der Ablenkungsschiene, wie die Detailfigur 155 zeigt, ein Stift *d* und eine Feder *f* angebracht, welche in zwei entsprechende an dem Ablenkungsstab angebrachte Löcher passen. Nachdem die Ablenkungsschiene UU_1, entsprechend der durch die Figur 148 dargestellten sogenannten zweiten Hauptlage aufgesetzt ist, wird der magnetische Theodolit so reguliert, dass die Fernrohraxe senkrecht auf der Ebene des Spiegels *P* steht (wie bei der Bestimmung der magnetischen Inklination mittels dieses Instruments, siehe Erkl. 264) und die Stellung der Nonien an dem Horizontalkreis BB_1 abgelesen. Dann wird der Ablenkungsstab *NS* auf die Ablenkungsschiene gelegt und zwar nacheinander in vier verschiedene Lagen, nämlich:

1). auf das Ende U_1 der Schiene und den Südpol dem abzulenkenden Magnetstäbchen zugekehrt;
2). wie unter 1). nur den Nordpol jenem Stäbchen zugekehrt,
3). auf das andre Ende *U* der Schiene

Erkl. 538. Bei allen sorgfältigen Beobachtungen müssen Korrektionen in betreff der Temperaturveränderung etc. angebracht werden. Zur Beobachtung der Temperatur ist an der Ablenkungsschiene UU_1, siehe Figur 154, eine Hülse h angebracht, welche zur Aufnahme eines Thermometers T dient. In betreff der diesbezüglichen Korrektionen siehe den späteren Abschnitt C).

Erkl. 539. *Lamont* machte auf seinen Reisen mittels des von ihm konstruierten magnetischen Reisetheodolits entweder nur Schwingungs- oder nur Ablenkungsversuche und berechnete alsdann die magnetische Intensität des betreffenden Orts durch Vergleichung mit den im Münchner Observatorium gemachten Beobachtungen.

Mittels eines und desselben Reisetheodolits fand *Lamont* im Jahre 1850 in München die Horizontalintensität:

$$T = i = 1{,}952$$

und einen Ablenkungswinkel:

$$u = 49^0\,50'$$

ferner fand er z. B. in Aschaffenburg einen Ablenkungswinkel:

$$u_1 = 51^0\,50'$$

Nach der in der Erkl. 537 aufgestellten Formel:

$$T_1 = T \cdot \frac{tg\,u}{tg\,u_1}$$

ergibt sich hiernach für die Horizontalintensität i_1 in Aschaffenburg:

$$T_1 = i_1 = 1{,}952 \cdot \frac{tg\,49^0\,50'}{tg\,51^0\,50'} = \frac{1{,}952 . 1{,}18474}{1{,}27229}$$

oder: $i_1 = 1{,}859$

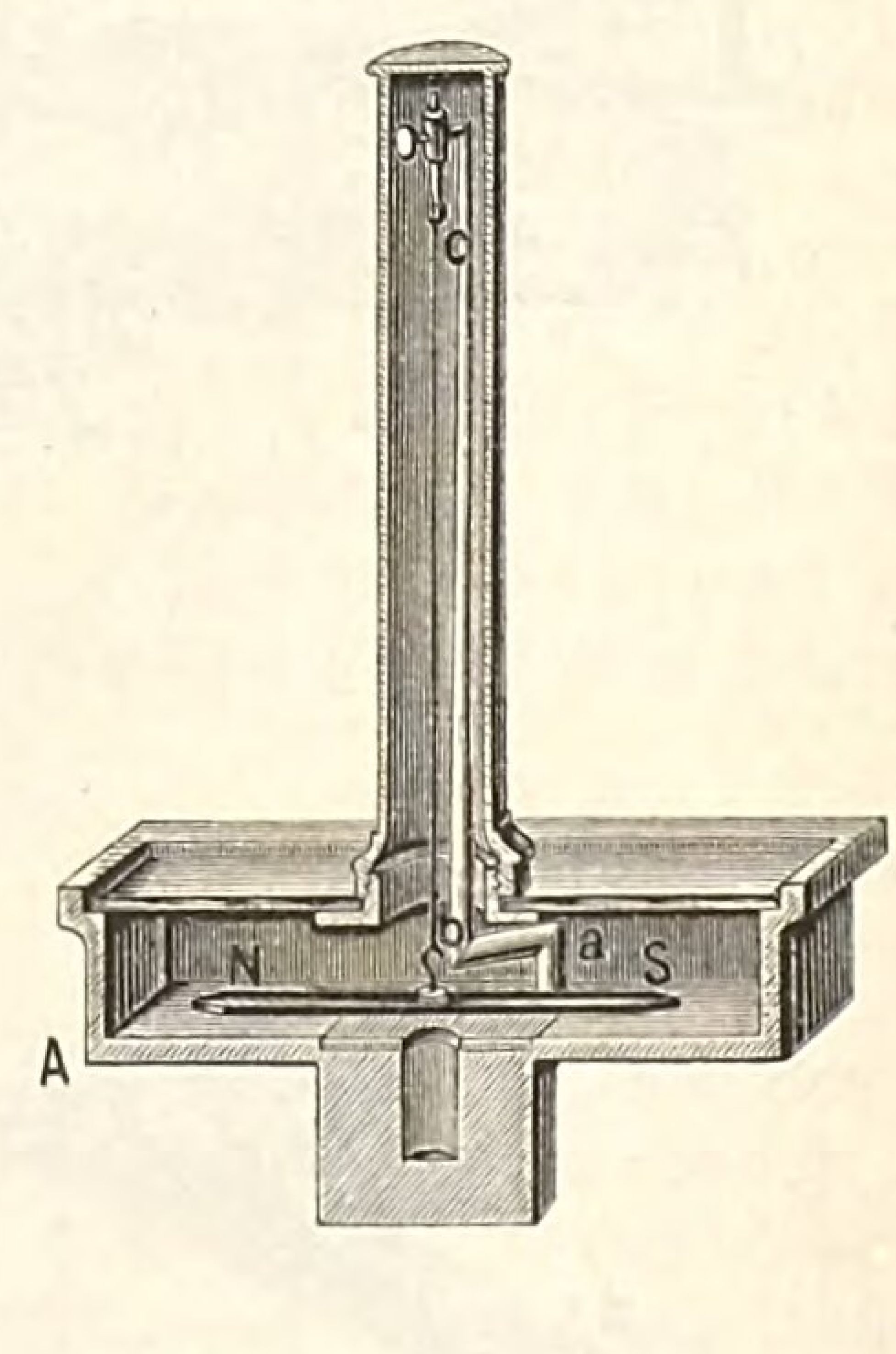
und den Südpol dem abzulenkenden Magnetstäbchen zugekehrt, und
4). wie unter 3). nur den Nordpol jenem Stäbchen zugekehrt

und die hierdurch hervorgerufenen 4 verschiedenen Ablenkungen des Magnetstäbchens abgelesen. Mit dem arithmetischen Mittel aus diesen 4 Ablesungen erhält man den Mittelwert der gesuchten Ablenkung. Ferner verfährt man:

b). bei Beobachtung der Schwingungsdauer wie folgt:

Der Ablenkungsstab NS, siehe Figur 156, wird an dem messingenen, zweimal rechtwinklig gebogenen Säulchen abc mittels eines Coconfadens aufgehängt. Diese ganze Aufhängevorrichtung wird mittels des in der Figur 156 im Durchschnitt dargestellten Holzkästchens AB, welches oben durch eine Glasplatte verschlossen ist, vor Luftströmungen geschützt und wie früher in dem Abschnitt h). gezeigt wurde, die Schwingungsdauer des Ablenkungsstabs bestimmt.

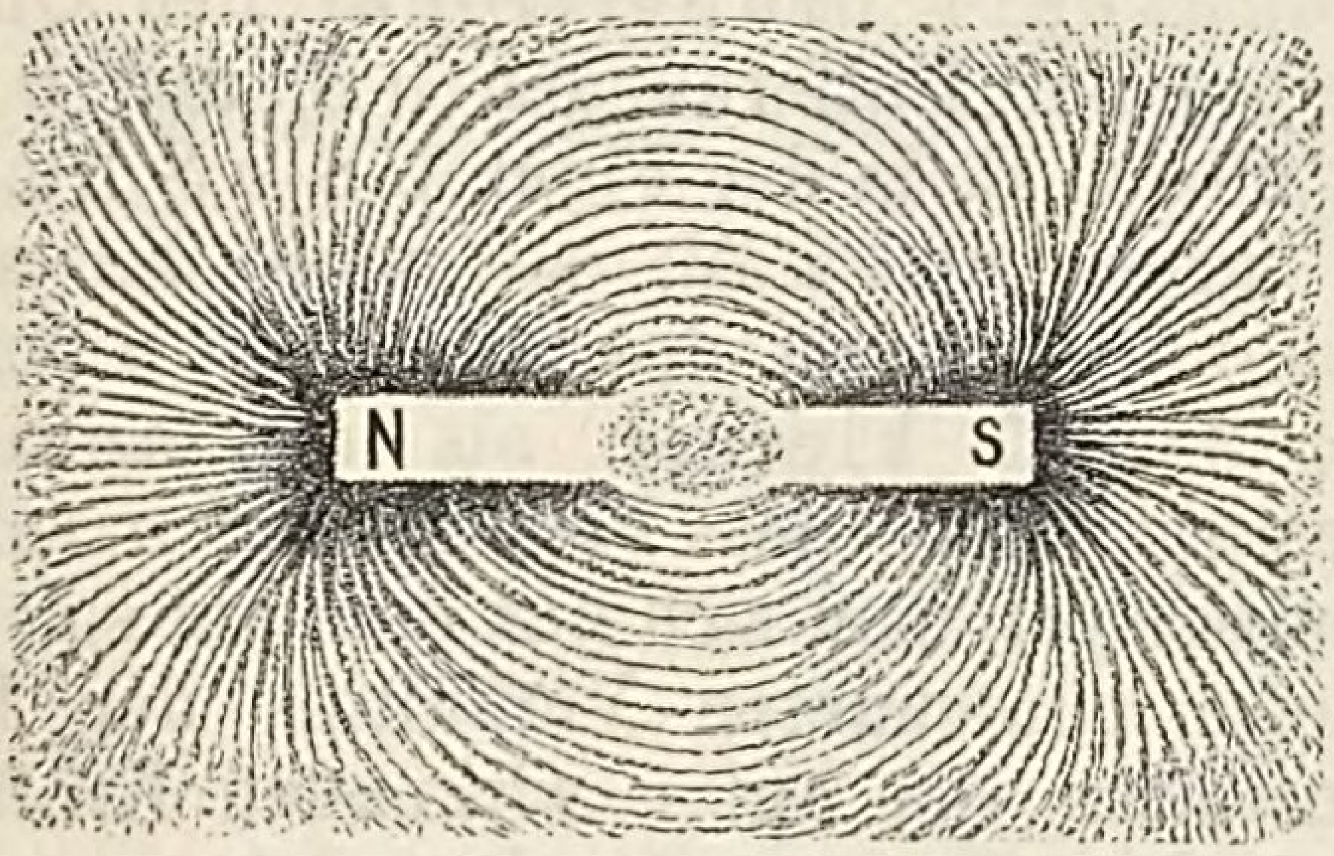
Figur 156.



B). Ueber die magnetischen Kurven.

Frage 193. Was versteht man unter den magnetischen Kurven oder Kraftlinien?

Figur 157.

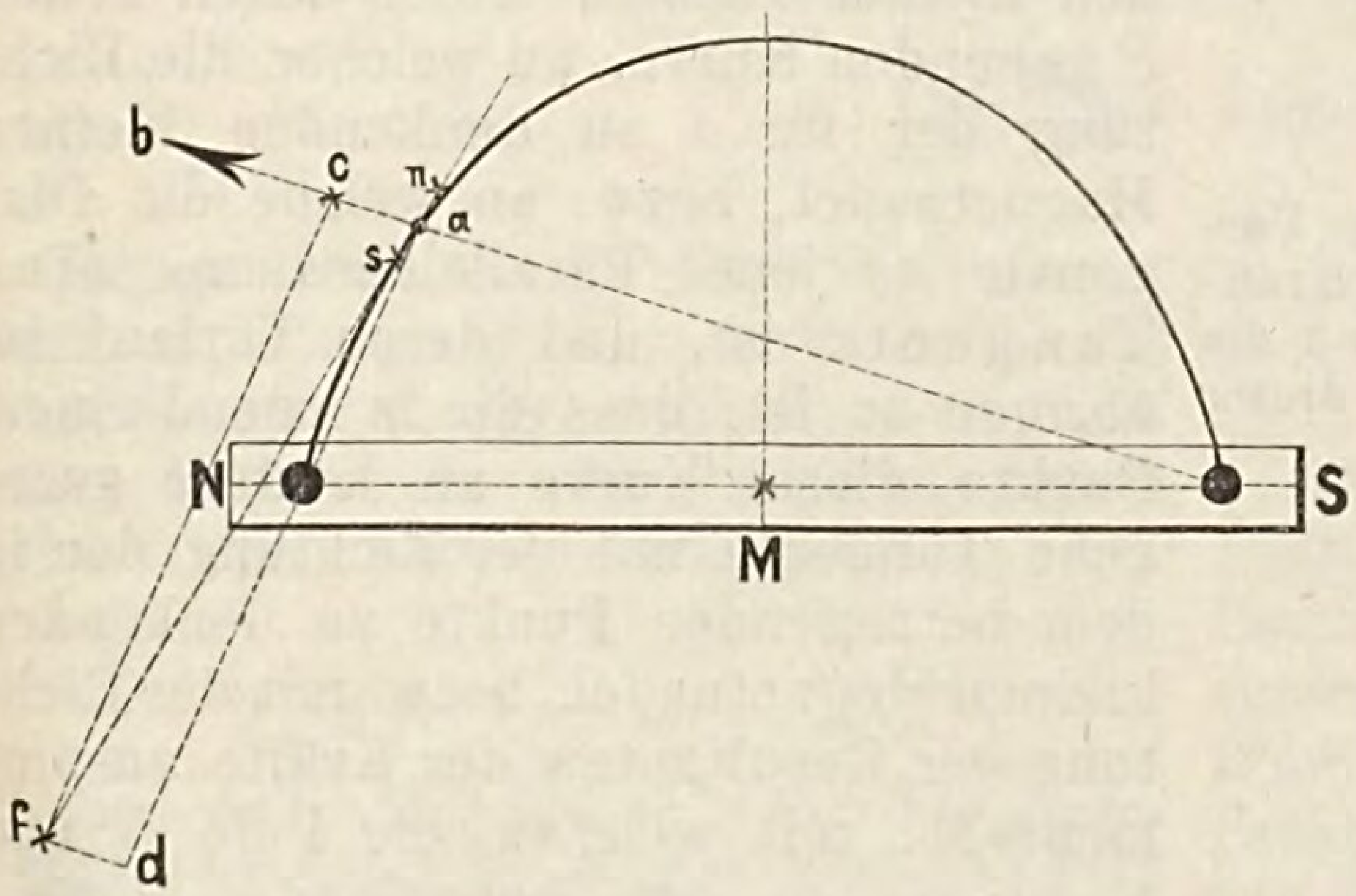


Antwort. Wie schon in Antwort der Frage 46 erwähnt, hängen sich die feinen Eisenfeilspähnchen, welche man auf einen steifen über einem Magnet liegenden Bogen Papier sorgfältig durchsiebt (siehe Antwort der Frage 46), so aneinander an, dass sie, wie die Figur 157 zeigt (siehe auch die Figuren 24—29), gesetzmässige krumme Linien bilden, welche „magnetische Kurven oder Kraftlinien, auch Magnetkraftlinien" genannt werden. *)

*). In der 1. Aufl. soll es in der Frage 46 und in deren Antwort heissen: „magnetische Kurven oder Kraftlinien, statt merkwürdige Kurven oder Kraftlinien."

Frage 194. In welcher Weise kann man die Gesetzmässigkeit der in voriger Antwort definierten magnetischen Kurven oder Kraftlinien im allgemeinen nachweisen?

Figur 158.



Erkl. 540. Die magnetischen Kurven oder Kraftlinien lassen sich nach den Gesetzen der analytischen Geometrie durch Gleichungen darstellen, mittels welchen man die weiteren Eigenschaften jener Kurven untersuchen und hiernach auch jene Kurven konstruieren kann (siehe Kleyers Lehrbuch der analytischen Geometrie).

Antwort. Ist, siehe Figur 158, a ($= ns$) eine in horizontaler Ebene frei um ihren Schwerpunkt drehbare Magnetnadel, welche im Verhältnis zu dem Magnetstab NS als sehr klein zu denken ist, so kann man dieselbe in bezug auf die Wirkung, welche die Pole des Magnetstabs auf sie ausüben, sobald sie sich dem einen oder dem andern dieser Pole näher befindet, als ein einfach magnetisches Partikelchen betrachten, welches, je nachdem es dem Nordpol N oder dem Südpol S näher liegt, nur Süd-, bezw. nur Nordmagnetismus zeigt (siehe Antw. der Frage 175). Man kann somit die Wirkung der Pole N und S auf die sehr kleine Magnetnadel a mit der Fernewirkung einfach magnetischer Massen aufeinander vergleichen.

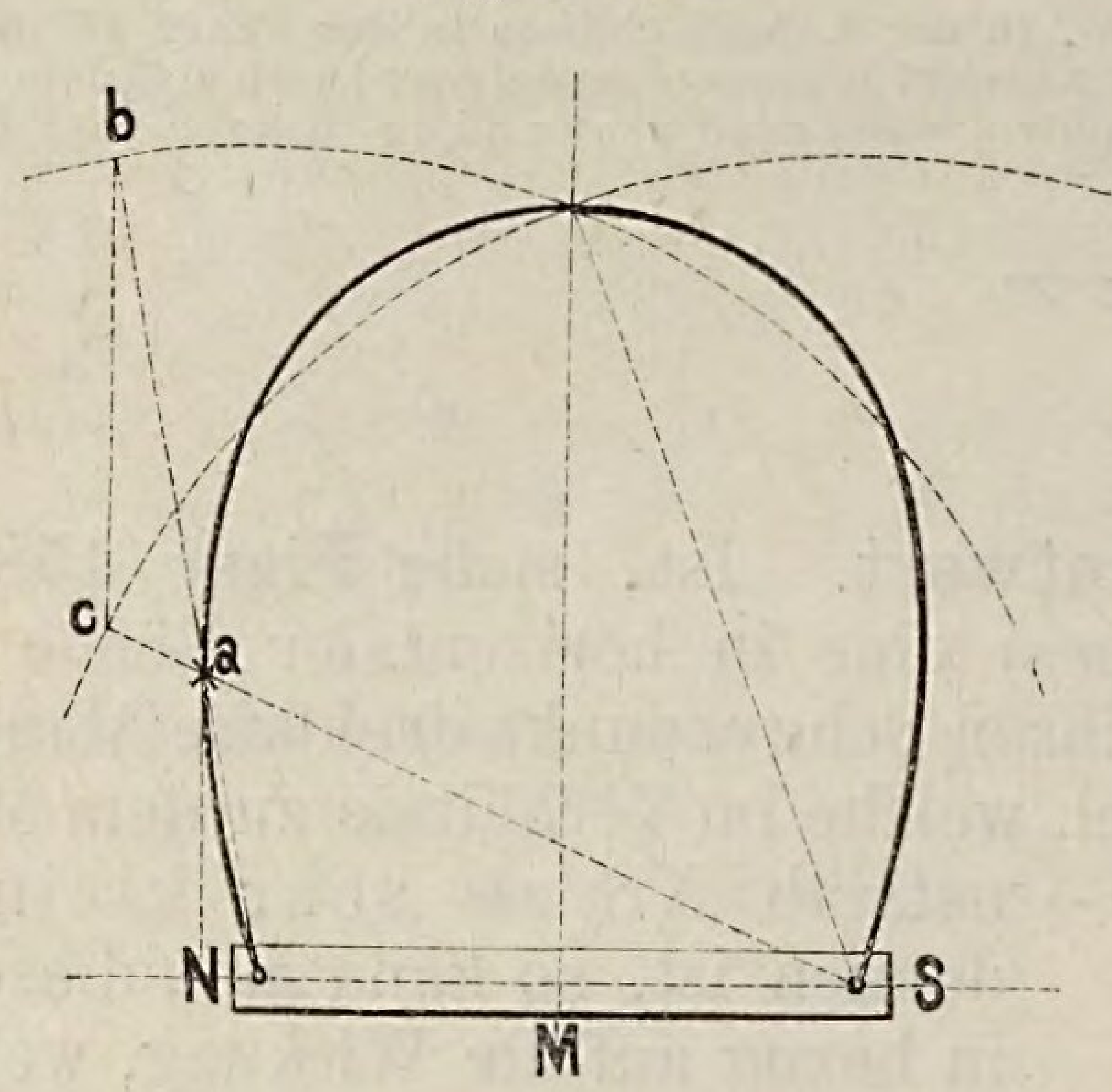
Befindet sich die sehr kleine Magnetnadel a, z. B. (siehe die Antworten der Fragen 172 u. 173) wie in der Figur 158, in der Nähe des Nordpols N des kräftigen Magnetstabs, so wirken auf diese sehr kleine Magnetnadel nur zwei

Erkl. 541. Zur Konstruktion der magnetischen Kurven (siehe Erkl. 540) gab *Roget* (Roget, Journ. of Roy. Inst. 1831) folgendes einfache Verfahren an:

Man beschreibe um die Pole *N* und *S*, siehe Figur 159, zwei Kreisbogen mit gleichem Radius, errichte auf der magnetischen Axe des Magnetstabs eine beliebige Senkrechte *cd*, welche die beiden Kreisbogen schneidet, verbinde die somit erhaltenen zwei Durchschnittspunkte *b* und *c* dieser Senkrechten und der Kreisbogen mit den betreffenden Mittelpunkten (den betreffenden Polen) der Kreisbogen, alsdann ist der Durchschnittspunkt *a* dieser Verbindungslinien *Nb* und *Sc* ein Punkt der magnetischen Kurve.

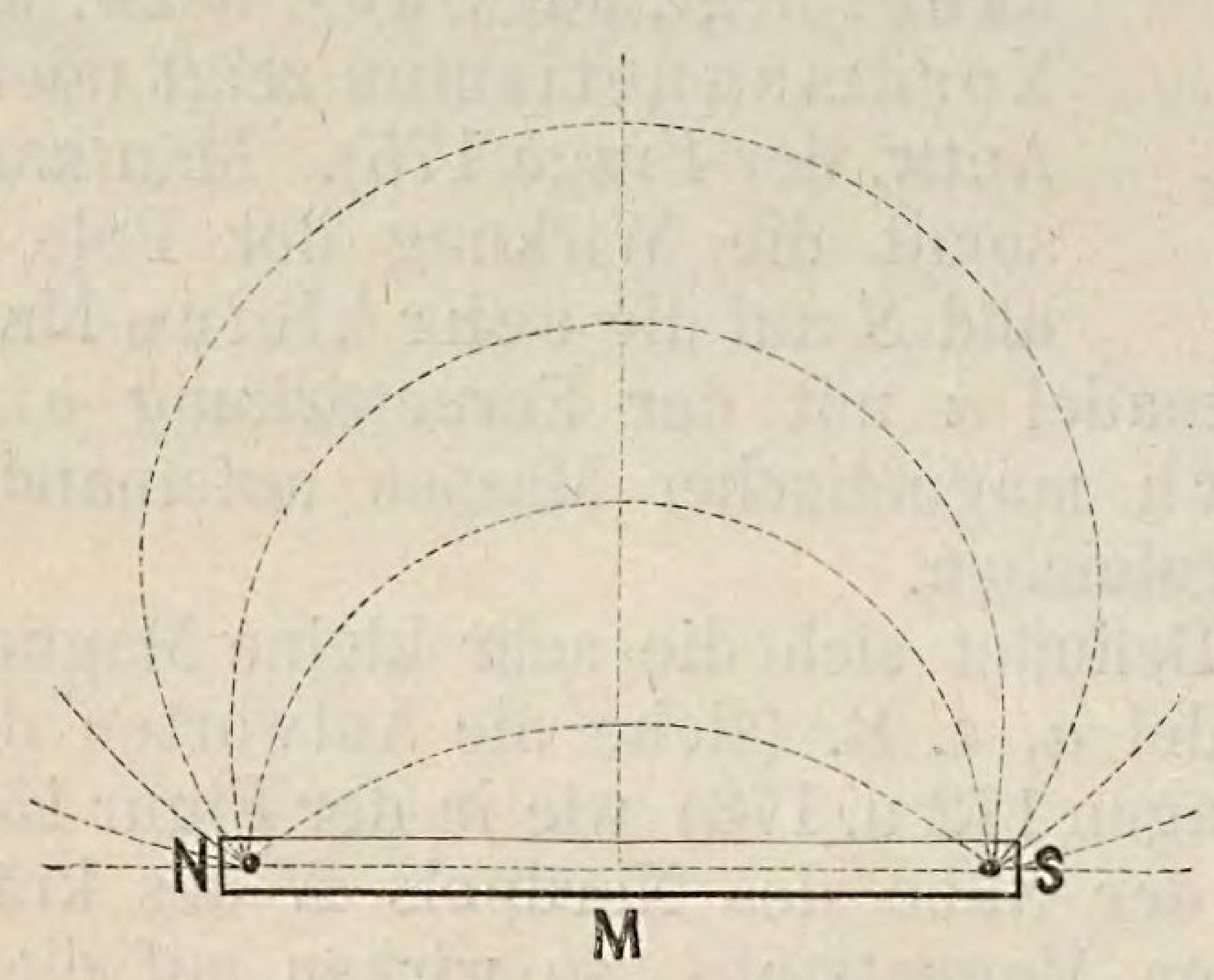
Ist die Lage eines Punktes, bezw. eines magnetischen Partikelchens eine im voraus gegebene, so kann man hiernach ebenfalls die Kurve konstruieren, welche durch jenen Punkt geht.

Figur 159.



Erkl. 542. Die Figur 160 zeigt den Verlauf mehrerer magnetischer Kurven oder Kraftlinien, wobei noch zu bemerken ist, dass die magnetische Axe *NS* ebenfalls eine dieser Kraftlinien darstellt.

Figur 160.



Kräfte, nämlich der Nordpol *N* des Magnetstabs wirkt anziehend in der Richtung *aN* und der Südpol *S* abstossend in der Richtung *ab*.

Nach dem Gesetz der Fernewirkung einfach magnetischer Massen aufeinander (siehe Antw. der Figur 172) sind die Intensitäten dieser auf *a* wirkenden anziehenden und abstossenden Kräfte umgekehrt proportional den Quadraten der Entfernungen *aN* und *aS*; ist also z. B. in der Figur 158 *aS* 3 mal so gross als *aN*, so muss die abstossende Kraft des Pols *S* auf *a* 9 mal (= 3^2 mal) kleiner als die anziehende Kraft des Pols *N* auf *a* sein. Konstruiert man sich aus dem auf solche Weise berechneten Verhältnis der Intensitäten der auf *a* wirkenden Kräfte, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, das Parallelogramm *acfd*, so erhält man mit der Diagonale *af* dieses Parallelogramms die Richtung und Intensität der Resultanten jener zwei Kräfte; in die Richtung dieser Resultanten wird sich die als sehr klein zu denkende Magnetnadel *a* (= *ns*) stellen.

Betrachtet man nun *a* als ein unendlich kleines Element einer durch *N* und *S* gehenden Kurve, an welcher die Richtung der für *a* zu denkenden kleinen Magnetnadel, bezw. an welche die Diagonale *af* jenes Parallelogramms eine Tangente ist, und deren Verlauf im übrigen so ist, dass die in irgend einem Punkte dieser Kurve an letztere gezogene Tangente mit der Richtung der in dem betreffenden Punkte zu denkenden kleinen Magnetnadel, bezw. mit der Richtung der Resultanten der Kräfte zusammenfällt, mit welchen die Pole *N* und *S* auf ein in dem betreffenden Punkte zu denkendes einfach magnetisches Partikelchen wirken, so ist diese gedachte Kurve eine vollständig gesetzmässige, indem der Verlauf derselben abhängig ist von der Lage des gedachten einfach magnetischen Partikelchens und von der Grösse und Intensität des Magnetstabs *NS*.

Denkt man sich die in vorstehendem

Erkl. 543. Auf welche Weise man die magnetischen Kurven experimentell darstellen kann, das liegt in der Definition derselben. Siehe Antwort der Frage 46 und die Figuren 24—29.

stets erwähnte sehr kleine Magnetnadel durch feine weiche Eisenfeilspähne ersetzt, was man insofern kann, als ein jedes dieser Spähnchen infolge der induzierenden Wirkung des Magnets NS zu einem temporären Magnetchen wird und infolge der anziehenden und abstossenden Kraft des Magnets die äusserst geringe Reibung, welche es durch seine Schwere auf die Unterlage ausübt, leicht überwinden, sich also ebenfalls in horizontaler Ebene drehen kann (was ausserdem noch durch das Trommeln mit einem Stäbchen auf dem Papier, auf welchem die Eisenfeile liegt, unterstützt wird, siehe Antwort der Frage 46), so ergibt sich hieraus, dass die nach voriger Antwort definierten sogenannten magnetischen Kurven oder Kraftlinien vollständig gesetzmässige Kurven sind, von welchen die kleinen Eisenfeilspähnchen Kurvenelemente, bezw. an welche die verlängert gedachten Eisenfeilspähnchen Tangenten sind.

C). Ueber die Bestimmung des Sättigungspunkts.

(Häckers Formel.)

Frage 195. Auf welche Weise kann man experimentell oder durch Rechnung bestimmen, ob bei dem Magnetisieren eines Magnetstabs der Sättigungspunkt (siehe Erkl. 544) erreicht ist.

Erkl. 544. Was man unter dem Sättigungspunkt oder unter der magnetischen Sättigung eines magnetisierten Stabs zu verstehen hat, ist schon in Antwort der Frage 72 erklärt.

Erkl. 545. *Häcker* legte der Berechnung der in der Formel:

$$T = c \cdot \sqrt[3]{P} \cdot \sqrt[6]{L}$$

vorkommenden konstanten Grösse c als Gewichtseinheit nicht das Gramm, sondern das

Antwort. Wie schon in Antwort der Frage 74 erwähnt, ist die allgemeine Bestimmung, ob ein magnetisierter Stab seinen Sättigungspunkt erreicht hat, sehr schwierig, indem das Magnetisieren, die Erregung des Magnetismus, abhängig ist von dem Material, aus welchem der Magnet besteht und von den Mitteln, welche zur Erregung des Magnetismus angewandt werden.

In betreff jener Bestimmung beachte man folgendes:

Je kräftiger ein Magnetstab magnetisiert ist, um so intensiver wird sich die Wirkung des erregten freien Magnetismus geltend machen, kann man somit

Lot (= 17,5 gr), und als Längeneinheit nicht das Centimeter, sondern den Zoll (= 2,43 cm) zu Grunde. Hiernach fand *Häcker* bei seinen vollständig gesättigten Magnetstäben für c den Wert:

$$c = 2{,}35$$

War z. B. das Gewicht P eines gesättigten *Häcker*schen Magnetstabs = 25,6 Lot und seine Länge = 11 Zoll, die Schwingungsdauer $T = 10{,}33''$, so ergibt sich nach vorstehender Formel für c jener Wert = 2,35.

Setzt man jedoch:

$$25{,}6 \text{ Lot} = 25{,}6 \,.\, 17{,}5 \text{ Gramm},$$
$$11 \text{ Zoll} = 11 \,.\, 2{,}43 \text{ cm und}$$
$$T = 10{,}33''$$

so erhält man für den auf das metrische Mass reduzierten Wert für c:

$$c = 0{,}7807$$

oder abgerundet:

$$c = 0{,}8$$

Erkl. 546. Aus der von *Häcker* aufgestellten Formel:

$$T = c \,.\, \sqrt[3]{P} \,.\, \sqrt[6]{L}$$

ergibt sich, dass für solche Magnetstäbe, welche bis zu ihrem Sättigungspunkt magnetisiert sind und gleiche Länge haben, die Schwingungsdauer T mit wachsendem Gewicht P derselben grösser wird, dass also bei gleicher Länge die Schwingungsdauer von der Masse, bezw. von der Dicke der Magnetstäbe abhängig ist, und dass die Magnetstäbe um so langsamer schwingen, je mehr Masse sie enthalten, bezw. je dicker sie sind.

Würde sich in dicken Magnetstäben der Magnetismus in derselben Stärke erregen lassen als in dünnen Magnetstäben, so wäre die Schwingungsdauer T von der Masse, bezw. von dem Gewicht P der Magnetstäbe unabhängig, woraus sich die Folgerung ergibt, dass sich dünne Magnetstäbe im Verhältnis stärker magnetisieren lassen als dicke, was nach früherem bereits durch das Experiment festgestellt wurde (siehe Antwort der Frage 75).

bei verschiedener Magnetisierung eines und desselben Magnetstabs die Stärke des erregten Magnetismus bestimmen, welche ein Maximum ist, so kann man auch bestimmen, wann der Magnetstab seinen Sättigungspunkt erreicht hat.

Da man nun, wie in den Antworten der Fragen 165 und 166 gezeigt wurde, die Stärke des in einem Magnetstab entwickelten freien Magnetismus relativ dadurch messen kann, dass man entweder

a). die Ablenkungen bestimmt, welche jener verschieden stark magnetisierte Magnetstab aus ein und derselben Entfernung an einer Magnetnadel hervorbringt, indem die Stärke des erregten Magnetismus (bezw. das magnetische Moment desselben, siehe Erkl. 443) bei einem und demselben Magnetstab proportional dem Ablenkungswinkel ist, oder dass man

b). die Schwingungsdauer der Oscillationen bestimmt, welche der verschieden stark magnetisierte und in horizontaler Ebene drehbare Magnetstab infolge der Einwirkung des Erdmagnetismus bis zu seiner Ruhelage braucht; indem die Stärke des erregten Magnetismus (bezw. das magnetische Moment desselben, siehe Erkl. 451) dem Quadrate der Schwingungsdauer direkt proportional ist, so kann man auch durch diese relativen Messungen und durch fortgesetztes stärkeres Magnetisieren des betreffenden Magnetstabs untersuchen, ob er sich überhaupt noch stärker magnetisieren lässt, bezw. ob durch das Magnetisieren der Sättigungspunkt erreicht ist; wobei es allerdings wiederum auf die Mittel ankommt, welche man zum Magnetisieren anwendet.

Dem Physiker *Häcker* in Nürnberg gelang es, äusserst kräftige Magnetstäbe herzustellen, für welche er nach der unter b). angegebenen relativen Bestimmung der Stärke des erregten Magnetismus annehmen konnte, dass sie bis zum Sättigungspunkt magnetisiert waren. Mit diesen vollständig gesättigten Magnetstäben stellte *Häcker* eine Reihe von sorgfältigen Versuchen über die Schwingungsdauer derselben an und kam zu

dem Schlusse, dass sich die Schwingungsdauer solcher Magnetstäbe nach der empirischen Formel:

Formel 29 $T = c . \sqrt[3]{P} . \sqrt[6]{L}$

berechnen lässt, in welcher T die in Sekunden ausgedrückte Schwingungsdauer, P das in Gramm ausgedrückte Gewicht und L die in Centimeter ausgedrückte Länge des Magnetstabs, und c einen konstanten Faktor bedeutet, welcher von der Stärke des erregten Magnetismus abhängig und welcher für die von ihm benutzten Stäbe = 0,8 ist (siehe Erkl. 545).

Mittels dieser von *Häcker* aufgestellten Formel kann man relativ (siehe Erkl. 546) beurteilen, ob ein Magnetstab bis zu seinem Sättigungspunkt magnetisiert ist oder nicht. Hat man z. B. einen Magnetstab von $P = 448$ gr Gewicht und von $L = 26,73$ cm Länge, so erhält man, wenn angenommen wird, dass dies ein vollständig gesättigter Magnetstab ist, und dementsprechend nach *Häcker* $c = 0,8$ gesetzt wird, aus obiger Formel die Gleichung:

$$T = 0,8 . \sqrt[3]{448} . \sqrt[6]{26,73}$$

woraus sich nach nebenstehender Hülfsrechnung für die Schwingungsdauer T dieses bis zum Sättigungspunkt magnetisierten Stabes = 10,58 Sekunden ergibt. Ist nun die Schwingungsdauer des betreffenden Magnetstabs in Wirklichkeit nicht = 10,58 Sekunden, sondern z. B. = 14 Sekunden, was experimentell untersucht werden muss, so ergibt sich hieraus, dass die Stärke des erregten Magnetismus noch nicht diejenige ist, welche *Häcker* bei den Stäben erreichte, mittels welcher er obige Formel aufstellte und wonach er den konstanten Wert $c = 0,8$ bestimmte. Der betreffende Magnetstab ist in diesem Falle also noch nicht bis zu seinem Sättigungspunkt magnetisiert.

Hülfsrechnung.

$$\log T = \log 0,8 + \frac{1}{3} \cdot \log 448 + \frac{1}{6} \cdot \log 26,73$$

(siehe Erkl. 547)

Nun ist:

$$\log 0,8 = 0,9030900-1$$
$$+ \frac{1}{3} \cdot \log 448 = \frac{1}{3} . 2,6512780 = 0,8837593$$
$$+ \frac{1}{6} \cdot \log 26,73 = \frac{1}{6} \cdot 1,4269990 = 0,2378332$$
$$\log T = 2,0246825-1$$
oder: $\log T = 1,0246825$
6909

mithin:
$T = 10,58$

Erkl. 547. Ueber die Rechnung mit Logarithmen siehe Kleyers Lehrbuch der Logarithmen.

Erkl. 548. Weiteres über die Bestimmung des Sättigungspunkts findet man in Kleyers Lehrbuch des Elektromagnetismus.

D). Ueber den Einfluss mechanischer Kräfte, der Wärme und des Lichts auf Magnete und deren magnetische Kraft.

1). Ueber den Einfluss mechanischer Kräfte, als: Erschütterung, Biegung und Torsion.

Frage 196. Welchen Einfluss haben die mechanischen Kräfte: Erschütterung, Biegung und Torsion auf die magnetische Kraft eines Magnets und zwar:

a). wenn jene Kräfte während des Magnetisierens auf den Magnetstab wirken, und

b). wenn jene Kräfte auf den fertigen Magnetstab wirken?

Erkl. 549. Es ist eine alte praktische Regel, dass man beim Magnetisieren eines Stabs, besonders beim Magnetisieren durch Berührung, die magnetische Kraft desselben durch Klopfen, Stossen oder andre ähnliche Erschütterungen bedeutend erhöhen kann (siehe Erkl. 101). Der Grund hiervon ist darin zu suchen, dass die nach Hypothese II (siehe Antw. der Frage 51) durch das Magnetisieren bedingte Umlagerung der Moleküle durch die Erschütterung befördert wird.

Erkl. 550. Einen weiteren merkwürdigen Einfluss der Erschütterung auf die magnetische Kraft beobachtete der Physiker *Wiedemann* (siehe: Wiedemann, Poggend. Ann. Bd. 100. Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus, Braunschw.). Entzieht man nämlich nach dessen Angaben einem Magnetstab durch entgegengesetztes Streichen seinen Magnetismus (ganz oder nur teilweise), so erhält er durch Erschütterungen seine magnetische Kraft zum Teil wieder. Mittels dieses Experiments ist es möglich, einen scheinbar vollständig unmagnetischen Stab durch blosse Erschütterungen magnetisch zu machen.

Antwort. In betreff des Einflusses der mechanischen Kräfte: Erschütterung, Biegung und Torsion auf einen Magnet und dessen magnetische Kraft wurde durch Experimente folgendes festgestellt, und zwar:

a). in bezug auf die Erschütterung eines Magnets:

Erschüttert man einen Stab durch Hämmern, Klopfen, Stossen etc., währenddem er magnetisiert wird, so wird die magnetische Kraft bedeutend stärker, als wenn man ihn ohne derartige Erschütterung magnetisiert (siehe die Erkl. 549 und 550 und die Antwort der Frage 53).

Erschüttert man dagegen einen fertigen Magnetstab durch Hämmern, Stossen oder Fallenlassen, so wird die magnetische Kraft desselben bedeutend geschwächt (siehe Erkl. 142 und Antwort der Frage 71). Der Grund hiervon ist darin zu suchen (siehe Hypothese II, Antw. der Frage 51), dass die gegenseitige magnetische Anziehung der infolge des Magnetisierens teilweise und meist nicht vollständig umgelagerten Moleküle zerstört und wieder aufgehoben wird (siehe Erkl. 552).

b). In bezug auf die Biegung eines Magnets:

Biegt man einen horizontal aufliegenden und befestigten Stab durch ein an seinem freien Ende angehängtes Gewicht und magnetisiert alsdann diesen Stab, so wird er, wie *Guillemin* (siehe Guillemin, Comptes Rendus P. 22) zeigte, wieder gerader und bleibt in dieser Form so lange, als der magnetische Zustand dauert. Dies lässt sich auf eine

durch das Magnetisieren hervorgerufene stärkere Zusammenziehung der einzelnen Moleküle zurückführen.

Der Physiker *Wertheim* wies ferner nach, dass durch die Biegung von Stäben, während sie magnetisiert wurden, der temporäre, und bei Biegung von Magnetstäben der dauernde Magnetismus geändert wurde. Die Gesetze, nach welchen dies stattfindet, lassen sich nur sehr schwer aufstellen, weil sich der Magnetismus von gebogenen Stäben, bezw. die Schwingungsdauer etc. derselben, durch die früher angegebenen Messinstrumente, als Magnetometer etc., nicht mehr genau messen lässt.

c). In bezug auf die Torsion eines Magnets:

Den Einfluss, welchen die Torsion (Drehung, auch Drillung genannt) auf einen Magnet, und den Einfluss, welchen umgekehrt der Magnetismus auf einen tordierten und dann magnetisierten Stab ausübt, ist sehr verschiedenartig und hängt von besonderen Umständen ab. Die durch sorgfältige Experimente (siehe Erkl. 554) festgestellten Resultate sind folgende und zwar fand man:

1). in bezug der Torsion auf den Magnetismus:

α). Tordiert man einen Stahlstab während des Magnetisierens stets nach einer Richtung, so wächst bei schwacher Torsion die magnetische Kraft und nimmt bei stärkerer Drillung wieder ab.

β). Tordiert man einen Magnetstab, so nimmt mit jeder Drillung seine magnetische Kraft ab. Wird der Magnetstab detordiert, d. h. in seine ursprüngliche Gleichgewichtslage (siehe Erkl. 410) zurückgedreht, so nimmt wiederum seine magnetische Kraft ab; wird er dann wiederholt nach derselben Seite wie vorher tordiert, so nimmt seine magnetische Kraft nochmals ab; wird er ferner nach der entgegengesetzten Seite tordiert, so nimmt seine magnetische Kraft noch bedeutend mehr ab.

γ). Wird ein Magnetstab nach vorstehendem wiederholt nach der einen und nach der andern Seite tordiert, so nimmt die magnetische Kraft stetig ab

Erkl. 551. Bei allen den, in nebenstehender Antwort erwähnten Experimenten bestimmt man die magnetische Kraft der Magnete durch das magnetische Moment derselben, wie es in Antwort der Frage 170 gezeigt wurde.

Erkl. 552. Es ist eine alte praktische Regel, dass fertige Magnetstäbe vor hartem Schlagen, Stossen, Fallenlassen etc. bewahrt bleiben müssen, da sie sonst von ihrer magnetischen Kraft verlieren.

Ein Eisenmagnet z. B., welcher aus der Entfernung von 35 mm eine kleine Magnetnadel um 20^0 ablenkt, wird bei einer bestimmten Anzahl von Hammerschlägen jene Nadel nicht mehr um 20^0 ablenken; bei einer weiteren Anzahl von Schlägen wird er auch die zuletzt erreichte Ablenkung nicht mehr hervorbringen u. s. f.

Erkl. 553. Wie später in den Lehrbüchern über Galvanismus und Elektromagnetismus gezeigt wird, ändert sich nach *Joule* (siehe Joule, Phil. Mag. 30) das Volumen eines Stabs infolge des Magnetisierens nicht, wohl aber wird ein solcher Stab länger, verliert somit an Umfang, was er an Länge gewinnt.

und behält schliesslich einen konstanten Wert.

δ). Wird ein Magnetstab so oft nach entgegengesetzten Richtungen tordiert, dass er in seiner ursprünglichen Gleichgewichtslage einen konstanten Wert beibehält, so hat jede weitere Drillung einen solchen Einfluss auf die magnetische Kraft des Magnets, dass bei jeder Drillung nach der einen Seite eine Zunahme, bei jeder Drillung nach der andern Seite eine Abnahme der magnetischen Kraft eintritt.

ε). Wird einem Magnetstab durch entgegengesetztes Magnetisieren ein Teil seines Magnetismus entzogen und dann der Stab tordiert, so wird seine magnetische Kraft noch schwächer; wird hingegen einem Magnetstab durch entgegengesetztes Magnetisieren ein grosser Teil seines Magnetismus entzogen und dann der Stab stark tordiert, so wird seine magnetische Kraft stärker als sie untordiert war, erreicht ein Maximum und nimmt bei weiterer Torsion wieder ab.

2). In bezug des Magnetismus auf die Torsion:

α_1). Magnetisiert man einen tordierten Eisendraht, so wird derselbe infolge des Magnetisierens aufgedreht, d. h. die Torsion nimmt ab, jedoch langsamer als die magnetische Kraft wächst.

β_1). Magnetisiert man einen Eisendraht nur wenig, so wird der Draht um weniges detordiert; magnetisiert man nach einiger Zeit wieder, so wird der Draht nicht weiter detordiert; magnetisiert man den Draht nach einiger Zeit in entgegengesetzter Weise, so wird der Draht weiter detordiert.

γ_1). und δ_1). Wird ein auf vorstehende Weise detordierter Stab wiederholt nach entgegengesetzter Weise magnetisiert, so wird er bei der einen Magnetisierung tordiert, bei der entgegengesetzten Magnetisierung wieder detordiert und der Draht nimmt seine ursprüngliche Gleichgewichtslage an.

ε_1). Wird einem tordierten Eisendraht durch entgegengesetzte Drillung ein kleiner Teil seiner Torsion genommen, und dann magnetisiert, so wird seine

Erkl. 554. Dass die Torsion auf den Magnetismus eines Stabs von sehr verschiedenartigem Einfluss ist, wurde zuerst durch *von Matteuci* (siehe Matteuci, Comptes Rendus, T. 24), *Wertheim* (siehe Wertheim, Comptes Rendus, T. 35, und Ann. de chém. et de phys.) und besonders später durch *Wiedemann* (siehe Poggendorffs Ann., Bd. 103 u. 106, und dessen Lehrbuch des Galvanismus) mittels der sorgfältigsten Versuche nachgewiesen. Die unter c). in nebenstehender Antwort angeführten Resultate sind grösstenteils den Untersuchungen *Wiedemanns* zu verdanken.

Erkl. 555. Jene Physiker: *von Matteuci* und *Wertheim* waren es auch, welche nachwiesen, dass die bei plötzlichem Magnetisieren und Entmagnetisieren hervorgerufenen und beobachteten Töne eine Folge von den Erschütterungen sind, welche die mittels galvanischer Ströme hervorgerufene rasche Magnetisierung und Demagnetisierung begleiten (siehe Kleyers Lehrbücher des Galvanismus und des Elektromagnetismus).

Erkl. 556. Die durch Experimente festgestellten und in nebenstehender Antwort aufgestellten Resultate über den Einfluss der Torsion auf den Magnetismus, und umgekehrt über den Einfluss des Magnetismus auf die Torsion, lassen sich erklären, wenn man diesen Erklärungen die in Antwort der Frage 51 angeführte Hypothese II zu Grunde legt, indem hiernach jede Torsion die Moleküle des Magnet- oder Eisenstabs, ähnlich wie jede mechanische Erschütterung, in Bewegung setzt.

Erkl. 557. Ueber die Art der Experimente, welche in betreff des Einflusses mechanischer Kräfte, wie z. B. der Torsion und Biegung gemacht wurden, findet man näheres in Kleyers Lehrbücher des Elektromagnetismus und des Galvanismus.

Torsion noch geringer; wird hingegen einem tordierten Eisenstab durch entgegengesetztes Tordieren ein grosser Teil seiner Torsion genommen und dann magnetisiert, so wird seine Torsion grösser als sie vorher war, erreicht ein Maximum und nimmt bei weiterem Magnetisieren wieder ab.

Aus der Analogie der bezw. unter α). und α_1)., β). und β_1). etc. verzeichneten Resultate lässt sich der innige Zusammenhang erkennen, der zwischen dem Einfluss der Torsion auf den Magnetismus und dem Einfluss des Magnetismus auf die Torsion besteht. Näheres über die Bedeutung dieses Zusammenhangs findet man in Kleyers Lehrbücher über Galvanismus und Elektromagnetismus.

2). Ueber den Einfluss der Wärme.

Frage 197. Welchen Einfluss hat die Wärme auf die magnetische Kraft eines Magnets, und zwar:

a). wenn die Wärme während des Magnetisierens wirkt,

b). wenn die Wärme nach dem Magnetisieren, also auf den fertigen Magnet wirkt?

Erkl. 558. Dass bis zur Weissglühhitze erwärmtes Eisen seine magnetischen Eigenschaften verliert [siehe α). in nebenstehender Antwort], kann man auch durch folgendes Experiment darthun.

Befestigt man an dem einen Ende a, siehe Figur 161, einer in horizontaler Ebene drehbaren Platinnadel ab einen Eisendraht, an dem andern Ende b ein Gegengewichtchen zur Herstellung des Gleichgewichts, und bringt in die Nähe des Eisendrahts einen Magnet M, so wird der Eisendraht von dem Magnet angezogen und die Platinnadel infolgedessen eine Drehung machen. Bringt man die Platinnadel hiernach in ihre ursprüngliche Stellung, hält sie fest und erwärmt mittels der Spirituslampe A den Eisendraht bis zum Weissglühen und lässt dann die Platinnadel wieder los, so wird der in seiner früheren Stellung befindliche Magnet M keinen Einfluss mehr auf den Eisendraht ausüben, was man daran erkennt, dass die Platinnadel in Ruhe bleibt. Der Eisendraht hat also bei der Weissglühhitze seine magnetische Eigenschaft verloren.

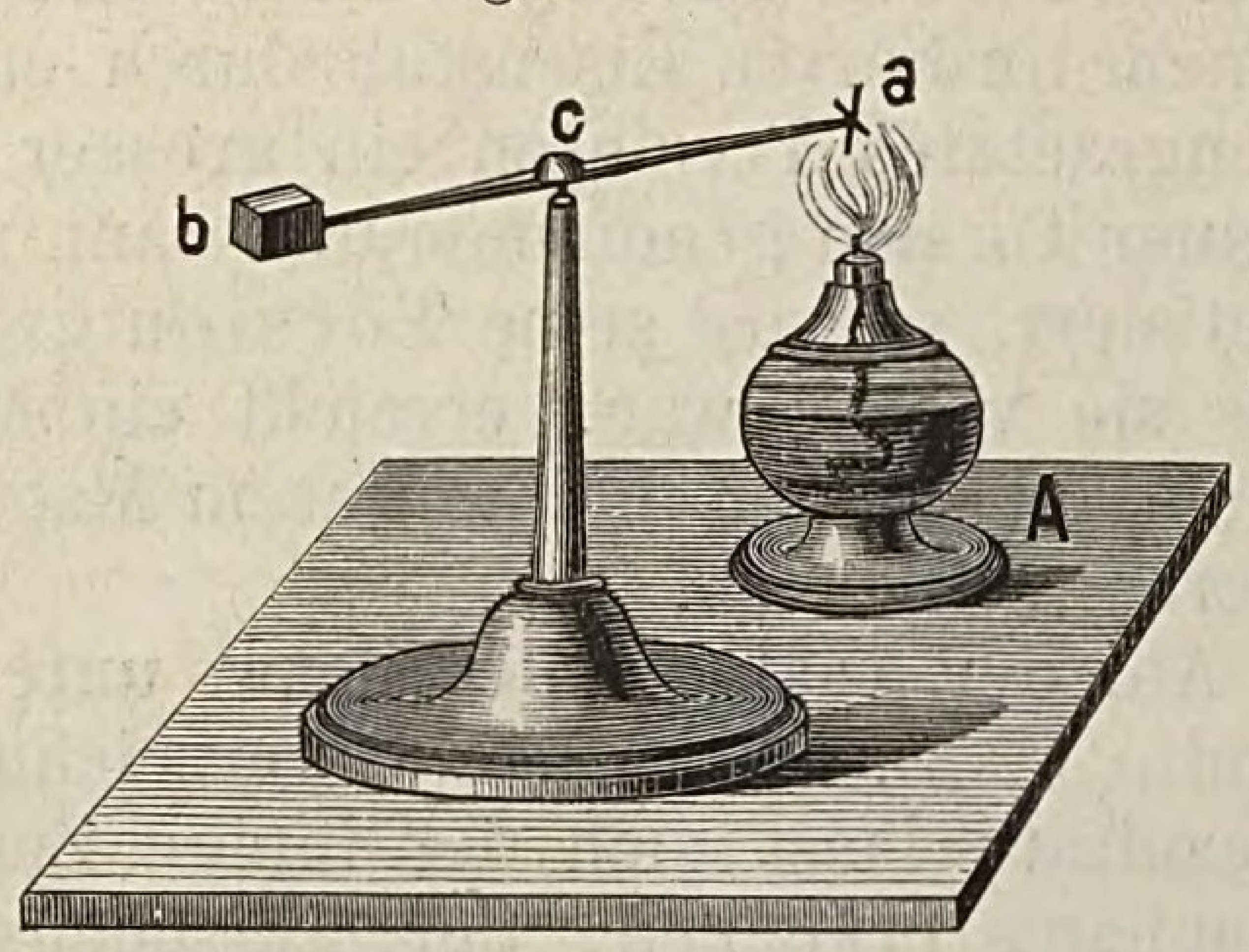
Antwort. In betreff des Einflusses der Wärme auf die magnetische Kraft eines Magnets wurde durch Experimente folgendes festgestellt, und zwar:

a). in bezug auf den Einfluss der Wärme während des Magnetisierens (der Herstellung).

α). Werden Eisenfeilspähne bis zur Weissglühhitze erwärmt und bei dieser Temperatur der Magnetismus erregenden Wirkung eines kräftigen Magnets durch Annäherung eines solchen ausgesetzt (siehe Antwort der Frage 53), so ergibt sich, dass sie bei dieser Temperatur ihre magnetische Eigenschaft, von einem Magnet angezogen zu werden, verloren hatten, und dass ein Magnetisieren von weichem Eisen, welches bis zur Weissglühhitze erwärmt ist, nicht mehr möglich ist, infolgedessen von einem temporären Magnetismus bei dem bis zur Weissglühhitze erwärmten Eisen nicht mehr die Rede sein kann (siehe Erkl. 558).

β). Wird ein weiches Eisenstück unter steter Erwärmung der induzierenden Kraft eines starken Magnets, durch An-

Figur 161.



Erkl. 559. Dass die Magnetisierbarkeit des Eisens, bezw. die magnetische Eigenschaft desselben bis zu einer gewissen Grenze der Temperaturerhöhung zunimmt, wird durch folgende Experimente bewiesen:

1). Der Physiker *Kupfer* (siehe Kupfer, Karstn. Archiv, Bd. 6) legte einen Stab von weichem Eisen, welcher der induzierenden Wirkung magnetisierender Kräfte ausgesetzt war, in der Richtung der horizontalen Erdkraft in ein Wasserbad. Das Wasser wurde durch indirekte Erwärmung und Abkühlung auf verschiedene Temperaturen bis 100° Celsius gebracht. Ueber der Mitte des Eisenstabs wurde eine Magnetnadel so aufgehängt, dass sie durch Scheidewände vor der Wärme geschützt war. Bei den verschiedenen Temperaturen, welche das Wasser, bezw. der in dem Wasser liegende Eisenstab (in welchem, wie vorhin erwähnt, temporärer Magnetismus erweckt wurde) annahm, wurden die Schwingungszahlen der Magnetnadel beobachtet, woraus man nach der Antwort der Frage 166 auf die Stärke der magnetischen Kraft des magnetisierten Eisenstabs bei den verschiedenen Temperaturen schliessen konnte. Hiernach ergab sich, dass bis 100°, bis zu welcher Temperaturerhöhung *Kupfer* seine Beobachtungen machte, die magnetische Kraft zugenommen hatte.

2). Der Physiker *Scoresby* (siehe Gehlers physikalisches Wörterbuch, Bd. 6) stellte in der Nähe einer Magnetnadel eine Stange von weichem Eisen auf, welche der induzierenden Wirkung magnetisierender Kräfte ausgesetzt war, und fand bei einer Erhitzung dieser eisernen Stange, dass die Ablenkung jener Magnetnadel von ihrem magnetischen Meridian mit der Erwärmung der eisernen Stange zunahm, dass somit die magnetische Kraft des temporären Magnetismus der Stange mit der Erwärmung zunahm. Dasselbe beobachtete er bei verschiedenen Stahl- und Eisensorten.

3). Auch mittels des durch die Figur 161 dargestellten Experiments (siehe Erkl. 558) kann man obige Aussage beweisen.

Stellt man den Magnet *M* soweit von dem Ende *a* der Platinnadel weg, dass der daran befestigte Eisendraht nicht mehr angezogen wird, und erwärmt dann letzteren bis zum näherung eines solchen, ausgesetzt, so nimmt die magnetische Kraft des in dem weichen Eisen erregten temporären Magnetismus bis zu einem gewissen Grade der Erwärmung stetig zu (siehe Erklärung 560).

γ). Steht ein weiches Eisenstück unter dem Einfluss magnetisierender Kräfte, so wird es bei jeder ersteren Temperaturveränderung, einerlei, ob dies eine Erwärmung, z. B. von 22° auf 60° oder eine Erkältung von 60° auf 22° ist, eine Zunahme der magnetischen Kraft zeigen (siehe Wiedemann, Lehrbuch des Galvanismus Bd. II. und die Erkl. 560).

δ). Werden magnetische Körper soweit erwärmt, dass sie ihre Magnetisierbarkeit verloren haben, so nehmen sie dieselbe wieder an und zwar oft in erhöhtem Grade, sobald die Temperatur wieder eine niedrigere wird (siehe die Erkl. 562).

b). In bezug auf den Einfluss der Wärme auf fertige Magnete.

α_1). Wird ein fertiger Magnet erwärmt, so nimmt seine magnetische Kraft mit der Temperaturerhöhung ab und zwar teils dauernd, teils nur während der Temperaturerhöhung, wobei er jedoch niemals mehr seine frühere Kraft erreicht.

Dies kann man mittels folgenden Experiments nachweisen:

Stellt man der Mitte des Magnetstabs *NS*, siehe Figur 162, eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel *ns* gegenüber, so wird dieselbe ihre Gleichgewichtslage beibehalten. Erwärmt man eines der Enden des Magnetstabs *NS*, so neigt sich die Nadel diesem Ende zu; erwärmt man das andre Ende *S*, so nimmt die Nadel eine andre Lage an und neigt sich letzterem Ende zu. Diese Versuche kann man durch fortgesetzte Erwärmung wiederholen.

Nach welchem Gesetz die erwähnte Abnahme der magnetischen Kraft bei höherer Temperaturerwärmung stattfindet, konnte bis jetzt nicht ermittelt werden, jedenfalls ist es bei den verschiedenen Eisensorten ein anderes (siehe Erkl. 563).

Weissglühen, lässt ihn dann erkalten, so wird in dem Augenblicke, in welchem der Draht eine Temperatur zwischen 5—600° Celsius erreicht, also gegen Ende des Gelbglühens (nach Mauritius, Poggend. Ann. Bd. 120, ist diese Temperatur = 1000°), eine starke Anziehung von Seiten des Magnets *M* eintreten. Jene Temperatur kann man als Grenze, bis zu welcher bei einer Erwärmung die magnetische Eigenschaft des Eisens zunimmt, ansehen.

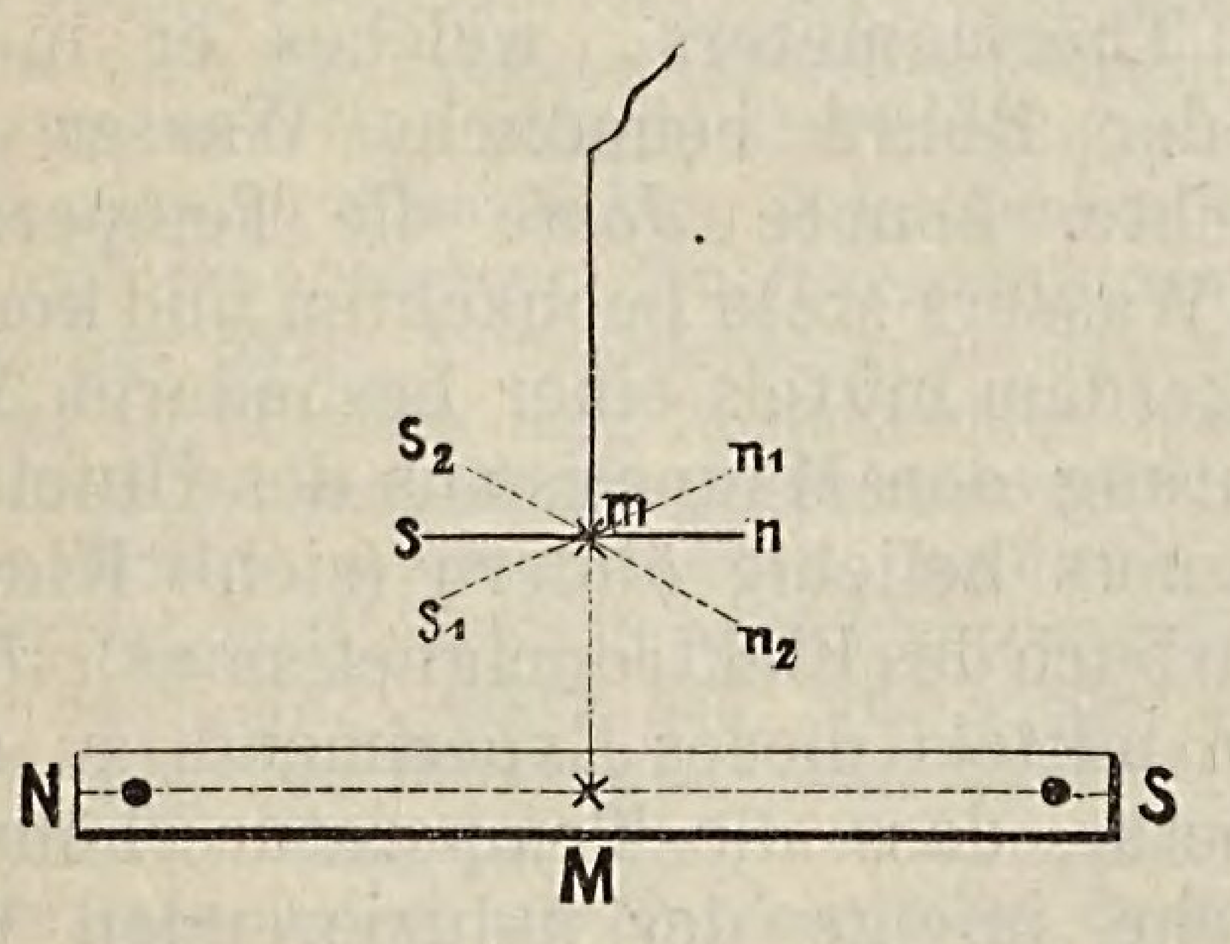
Erkl. 560. Die Eigenschaft magnetischer Körper, dass sie bei einer Temperaturerhöhung bis zu einer gewissen Grenze infolge des Magnetisierens stärkere magnetische Kraft annehmen, ist unter Zugrundelegung der Hypothese II, Antwort der Frage 51, darauf zurückzuführen, dass durch die mechanische Erweichung, welche die Hitze bewirkt, die Moleküle gelockert, bezw. die Koercitivkraft vermindert wird, mithin die Moleküle leichter der induzierenden Kraft folgen können.

Erkl. 561. Die Grenze der Temperaturerhöhung, bis zu welcher paramagnetische Körper (siehe Erkl. 32 und 562) ihre magnetische Eigenschaft behalten, ist bei den verschiedenen Körpern eine verschiedene.

Nach *Pouillet* (Pouillet, Traité II) ist diese Temperaturgrenze für:

Mangan	=	25° Celsius,	
Nickel	=	350° „	(vor dem Glühen, im siedenden Mandelöl),
Chrom	=	600° „	(beim dunkeln Rotglühen),
Eisen	=	800° „	(beim Gelbglühen),
Kobalt	=	1400° „	(„ Weissglühen).

Figur 162.



Erkl. 562. Da mit einer Temperaturveränderung [siehe nebenstehende Antwort β). und γ).] die magnetischen Eigenschaften paramagnetischer Körper zunehmen, so glaubte *Faraday* vermuten zu dürfen, dass bei sehr niederer Temperatur dieselbe zunehmen würde. Diesbezügliche Versuche bis zur Grenze der tiefsten bis dahin erreichten Kälte von — 110° Celsius ergaben ein negatives Resultat.

β_1). Bei starker Erwärmung von fertigen Magneten wird deren magnetische Kraft vollständig und dauernd vernichtet. Der Grad dieser Erwärmung liegt bedeutend niedriger als der Grad der Erwärmung, bei welcher magnetische Körper ihre magnetische Eigenschaft, magnetisiert werden zu können, verlieren. Der Grad der Erwärmung, bei welcher ein Magnet seine magnetische Kraft dauernd verliert, hängt von der Gestalt und der Grösse des Magnets, von der Beschaffenheit des Stahls und von der Koercitivkraft (Härte) desselben ab (siehe Erkl. 564).

γ_1). Wird ein fertiger Magnet nur einer geringen aber wiederholten Temperaturveränderung (Erwärmung oder Erkaltung) ausgesetzt, so ist der Verlust der magnetischen Kraft bei der ersten Erwärmung und der darauf folgenden Abkühlung am grössten und nimmt stetig ab, bis schliesslich bei einer weiteren Temperaturveränderung die magnetische Kraft des Magnets nur vorübergehend geschwächt wird (siehe die Erkl. 567). Aus den Versuchen von *Dufour* (Dufour, Archive de sciences physiques etc., de Genève) und von *Moser* und *Riess* ergab sich, dass der dauernde Verlust an magnetischer Kraft mit der Wärme, welcher der Magnetstab ausgesetzt ist, wächst und dass sich bei gleicher Erwärmung verschiedener Magnete der dauernde Verlust der magnetischen Kraft derselben mit der Gestalt und der Grösse, mit der Beschaffenheit des Stahls und dessen Härtung (Koercitivkraft) ändert. Aus den Versuchen von *Moser* und *Riess* ergab sich, dass der dauernde Verlust bei dicken Magnetstäben grösser ist als bei dünnen, dass er bei hohlen Magnetstäben ebenfalls grösser ist als bei massiven, dass er bei kürzeren grösser ist als bei längeren, dass er bei harten Stäben grösser ist als bei weichen.

In betreff des Einflusses der Wärme auf Magnete und auf die Magnetisierbarkeit magnetischer Körper liegt im allgemeinen noch vieles im Dunkeln und müssen einstweilen die Ergebnisse zu-

Erkl. 563. In betreff der Abnahme der magnetischen Kraft von Magneten infolge der Temperaturveränderungen stellte *Coulomb* (siehe Coulomb, Biot, Traité III) mancherlei Versuche an. Er beobachtete die Schwingungsdauer eines magnetisierten weichen Stahlstabs und eines gleichen Magnetstabs aus demselben gehärteten Stahl, und zwar bei verschiedenen Temperaturen, welche diese gleichen Magnetstäbe hatten. Die Erwärmung der Magnetstäbe bewerkstelligte er durch Eintauchen in Wasser, welches auf verschiedene Temperaturen erwärmt wurde. Seine Experimente ergaben folgende Resultate:

a). bei einem magnetisierten weichen Stahlstab

Temperatur der Erwärmungen:
15° 50° 100° 266° 425° 612° 850°

entsprechende Schwingungsdauer für 10 Schwingungen:
93″ 97,5″ 104″ 147″ 225″ 290″

entsprechendes magnetisches Moment:
1,00 0,91 0,78 0,40 0,19 0,10 0

b). bei einem Magnetstab aus hartem Stahl

Temperatur der Erwärmungen:
15° 100° 267° 512°

entsprechende Schwingungsdauer für 10 Schwingungen:
63″ 66″ 80″ 170″

entsprechendes magnetisches Moment:
1,00 0,93 0,62 0,14

Aehnliche Resultate erhielt der Physiker *Dufour*. Für einen bei 60° magnetisierten Stahlstab erhielt er bei Abnahme dieser Temperatur folgende Resultate:

Temperatur der Erwärmung:
60° 42° 23° 3°

entsprechendes magnetisches Moment:
1,71 1,63 1,53 1,35

Erkl. 564. Dass durch hohe Erwärmung ein Magnet seine magnetischen Eigenschaften verliert, lässt sich durch folgendes interessante Experiment darthun:

Wird eine magnetisierte Stahlnadel (z. B. eine Stricknadel) an irgend einer Stelle mittels eines Lötrohrs zum Weissglühen erhitzt, so verliert die Magnetnadel an dieser Stelle ihre magnetische Eigenschaft und zeigt ein Verhalten, als ob sie aus zweien an dieser Stelle aneinanderstossenden, aber getrennten Magneten bestünde.

Erkl. 565. Der Grund, warum durch Temperaturveränderungen die magnetische Kraft der Magnete geschwächt wird, lässt sich nach der Hypothese II, Antwort der Frage 51, darauf zurückführen, dass durch diese Temperaturveränderungen die Moleküle in Bewegung gesetzt werden, ähnlich wie bei der Erschütterung fertiger Magnete.

Erschütterung und Erwärmung üben somit künftiger Experimente und Untersuchungen erwartet werden (siehe Kleyers Jahrbücher: „Die Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität der Neuzeit“).

Was schliesslich noch umgekehrt das Magnetisieren in bezug auf den Wärmezustand anbetrifft, so ergaben die Versuche, dass jede Magnetisierung oder Aenderung des magnetischen Zustandes eine Erwärmung hervorruft. Der franz. Physiker *Joule* (siehe Joule, Phil. Magazin, Bd. 23), stellte hierüber folgende Versuche an.

Joule befestigte an eine Glasröhre ein Eisenstäbchen, füllte dieselbe mit Wasser und befestigte diese geschlossene Röhre so an einer vertikalen drehbaren Axe, dass sie sich, wenn diese Axe gedreht wurde, in horizontaler Ebene drehen musste. Unterhalb dieser Glasröhre stellte *Joule* einen kräftigen Hufeisenmagnet so auf, dass der in der Glasröhre befestigte Eisenstab gleichsam den Anker dieses Hufeisenmagnets bildete. Wurde nun die Axe, an welcher die Glasröhre befestigt war (oder umgekehrt, der Hufeisenmagnet um seine vertikale Axe), in Rotation versetzt, so änderte sich bei jeder halben Drehung der in dem Eisenstäbchen erregte Magnetismus, d. h. sein Ende zeigte in rascher Aufeinanderfolge abwechselnd südlichen und nördlichen Magnetismus. Vermittels eines Thermometers, welches er in das in der Röhre befindliche Wasser eintauchte, konnte *Joule* die Temperatur des Wassers stets beobachten und konnte ausserdem mittels einer besonderen Vorrichtung den Magnetismus des Hufeisenmagnets beliebig ändern (siehe Kleyers Lehrbuch des Elektromagnetismus). *Joule* kam mittels dieses Experiments zu dem Gesetze, dass die Temperaturerhöhung, welche infolge der induzierenden Wirkung des Hufeisenmagnets auf das in der Glasröhre befindliche Eisenstäbchen ausübt, direkt proportional ist dem Quadrate des dem Hufeisenmagnet erteilten Magnetismus, mithin auch direkt proportional sein muss dem Quadrate des in dem Eisenstab induzierten Magnetismus.

auf einen fertigen Magnet gleiche Wirkung aus, sie schwächen ihn.

Aus diesem Grunde verliert ein bei hoher Temperatur, z. B. ein bei 80° magnetisierter Stab, von seiner magnetischen Kraft bei darauf folgender Erkaltung nichts mehr, wenn er vor der Erkaltung erschüttert wurde.

Erkl. 566. In betreff der Abnahme, bezw. des Verlustes der magnetischen Kraft wurde beobachtet, dass z. B. Magneteisenstein schon bei der Glühhitze, Stahlmagnete schon bei circa 400° Celsius ihre magnetische Kraft dauernd verlieren.

Erkl. 567. In welcher Weise schwache Erwärmungen auf einen Magnet wirken, wurde schon in früherer Zeit durch mancherlei Experimente untersucht und zwar schon deshalb, weil bei allen magnetischen Messungen die Beständigkeit des magnetischen Zustandes der benutzten Magnete und Magnetnadeln vorausgesetzt wird.

Von den vielen diesbezüglichen Experimenten seien hier folgende erwähnt:

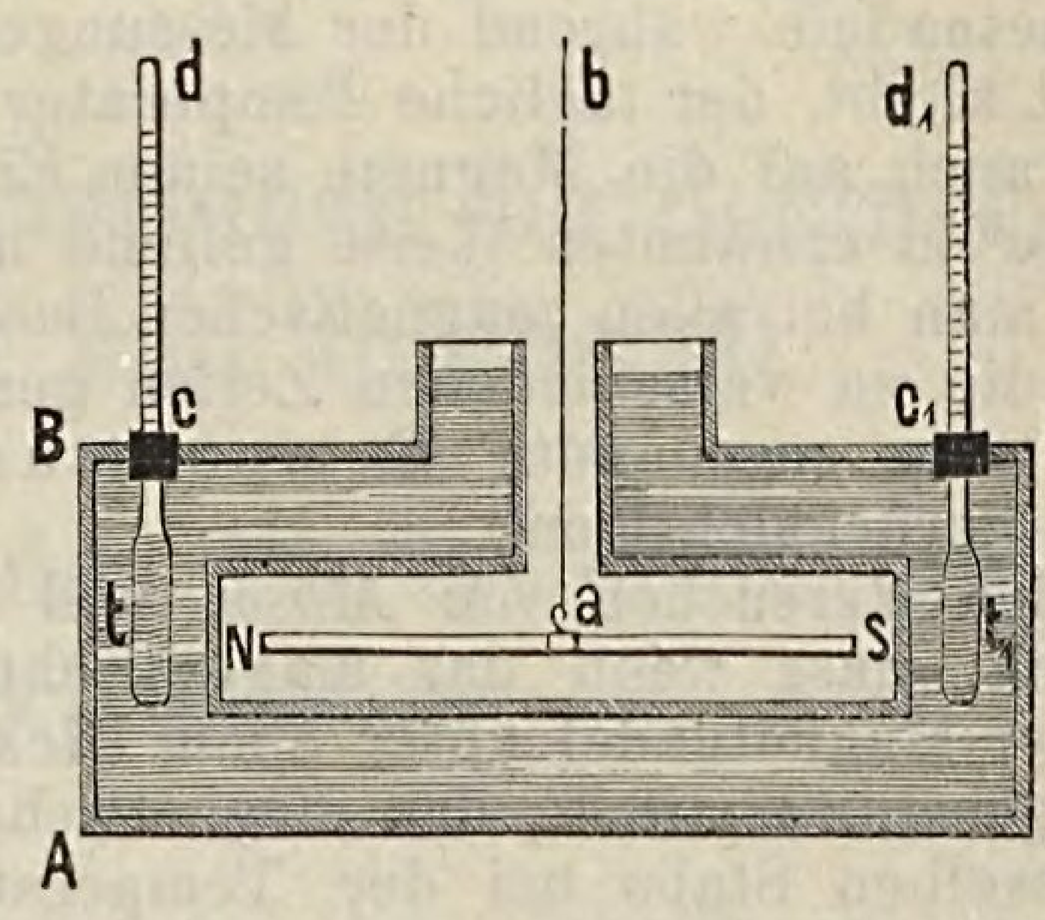
Der Physiker *Kupfer* legte, analog wie in der Erkl. 558 schon gesagt wurde, einen fertigen Magnetstab in der Richtung des magnetischen Meridians in ein Gefäss, welches mit einer Flüssigkeit gefüllt wurde und eine langsame Erwärmung derselben bis zu jeder beliebigen Temperatur gestattete; über der Mitte des Magnets hing er eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel auf, welche gegen den Einfluss der Wärme geschützt war und deren Schwingungen er beobachten konnte.

Kupfer kam bei seinen Experimenten unter anderm auch zu dem Schlusse, dass wenn ein Magnet den Magnetismus verlieren soll, den er voraussichtlich bei einer bestimmten Temperaturerhöhung verliert, der Magnet längere Zeit jener Temperatur ausgesetzt werden muss.

Er beobachtete nämlich die Schwingungsdauer, welche eine Magnetnadel für 200 Schwingungen brauchte und fand hierfür 578″; dann tauchte er dieselbe 10 Minuten lang in kochendes Wasser und fand alsdann für jene Schwingungsdauer nur 637″; dann tauchte er sie zum zweitenmal 10 Minuten lang in kochendes Wasser und fand für jene Schwingungsdauer 642″; bei einem dritten, vierten, fünften, sechsten, siebentenmal fand er für jene Schwingungsdauer bezw. 645″, 647″, 650″, 652″ und wieder 652″.

Die Physiker *Moser* und *Riess* (siehe Moser und Riess, Poggend. Ann. 17) vereinfachten dieses Experiment von *Kupfer* dahin, dass sie, wie die Figur 163 im Durchschnitt zeigt, ein Gefäss mit Doppelwänden benutzten, in welchem ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab hing, der durch Erwärmung einer zwischen den Doppelwänden befindlichen Flüssigkeit selbst beliebig erwärmt werden konnte. Sie beobachteten die Schwingungen, welche dieser auf verschiedene Temperaturen erwärmte Magnetstab nur unter dem Einfluss der Erde machte und bestimmten auf solche Weise die

Figur 163.



magnetische Kraft des Magnets (siehe Antwort der Frage 170).

Erkl. 568. Die Resultate der Experimente von *Moser* und *Riess* waren folgende:

Die erste Erwärmung hat stets eine Schwächung der magnetischen Kraft zur Folge und zwar fast proportional der Temperaturerhöhung.

Bei wiederholten Erwärmungen war:

a). bei Benutzung von schwachmagnetischem, reinem Eisen die Schwächung nur vorübergehend;

b). bei stärker magnetischem, weichem Stahl war ebenfalls die Schwächung nur vorübergehend, der Magnet erhielt aber seine frühere Kraft nicht wieder; und

c). bei starkmagnetischem, hartem Stahl wurde die Schwächung nach der Erwärmung, also beim Erkalten, noch grösser.

Erkl. 569. Da nach vorstehendem alle Erwärmungen auf die magnetische Kraft von Magneten schwächend wirken, bei magnetischen Messungen aber stets vorausgesetzt wird, dass die magnetische Kraft der benutzten Magnetnadeln während der Messungen unverändert bleibt, der tägliche Temperaturwechsel aber auch auf die Magnete seinen Einfluss in der vorhin erwähnten Weise geltend macht, so muss man bei allen magnetischen Beobachtungen, die zu verschiedenen Zeiten gemacht werden, eine sogenannte Temperaturkorrektion berücksichtigen.

Aus den Versuchen von *Moser* und *Riess* ergab sich, dass wenn das magnetische Moment einer Magnetnadel unter 8 mm Dicke bei der Temperatur t mit M, das magnetische Moment desselben Stabs bei der Temperatur t_1 mit M_1 bezeichnet wird, zwischen diesen Grössen die Relation besteht:

Formel 30 $$M_1 = M\,[1 - \alpha\,(t_1 - t)]$$

in welcher Formel α eine konstante Grösse, nämlich den sogenannten Schwächungskoeffizient bezeichnet.

Unter diesem Schwächungskoeffizient α hat man die Schwächung für 1^0 und bei 1 mm Dicke der betreffenden Nadel zu verstehen; nach den Versuchen ergab sich, dass der Wert für α bei allen Eisensorten fast derselbe ist.

Für Nadeln von 54,14 mm Länge ergab sich:

bei massiven weichen Stahlmagneten		α	= 0,000157
„ hohlen	„	„	= 0,000160
„ harten	„	„	= 0,000163
„ angelassenen	„	„	= 0,000160
„ weichem Eisen		„	= 0,000159

Moser und *Riess* erhielten bei ihren Versuchen für Nadeln von 54,14 mm und geringere Längen für α einen Mittelwert = 0,000163; für Nadeln von 76,70 mm und grössere Längen für a einen Mittelwert = 0,000115.

3). Ueber den Einfluss des Lichts.

Frage 198. Welchen Einfluss hat das Licht auf die magnetische Kraft eines Magnets?

Erkl. 570. *Morichini* (siehe Morichini, Gilberts Ann., Bd. 43) war der erste, welcher die Behauptung aufstellte, dass das Licht einen Einfluss ausübe, indem es ihm gelungen sei, infolge der Einwirkung des blauen und violetten Lichts Stahlnadeln zu magnetisieren. Aehnliche Behauptungen stellten *Zantedeschi* (siehe Zantedeschi, Bibl. univ., Bd. 41), *Mrs. Sommerville* (siehe Mrs. Sommerville, Ann. de Ch. et Ph., Bd. 31) und *Baumgärtner* (siehe Baumgärtner, Zeitschr. f. Ph., Bd. 11) auf.

Alle diese Behauptungen wurden durch die sorgfältigsten Versuche von *Moser* und *Riess* (siehe Poggend. Ann., Bd. 16) widerlegt.

Antwort. Das Licht hat auf die magnetische Kraft eines Magnets im allgemeinen gar keinen Einfluss, und lässt sich nur insofern von einem Einfluss des Lichts sprechen, als die durch dasselbe hervorgerufenen optischen Schwingungen des Aethers, von den materiellen Teilchen absorbiert, als Wärme wirken (siehe Erkl. 570).

E). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Deklination, Inklination und Intensität.

1). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Deklination.

Frage 199. Wie bestimmt man die Variationen der magnetischen Deklination?

Erkl. 571. Auf welche Weise die Schwingungsdauer t bestimmt wird, wurde in der Antwort der Frage 168 gezeigt.

Erkl. 572. Um noch ein genaueres Resultat für die magnetische Deklination zur bestimmten Zeit T zu erhalten, kann man das arithmetische Mittel aus mehr als zwei, nach nebenstehender Antwort zu beobachtenden Skalateilen nehmen, und zwar wählt man zur Beobachtung dieser Skalateile solche Zeiten, welche um ein in die Schwingungsdauer t ausgedrücktes Zeitteilchen vor, bezw. nach der bestimmten Zeit T verstreichen; z. B. die Zeiten:

$$T - \frac{3}{2}t,\quad T - \frac{1}{2}t \;\overset{T}{\Big|}\; T + \frac{1}{2}t,\quad T + \frac{3}{2}t$$

Erkl. 573. Bei allen Schwingungsbeobachtungen (siehe Antwort der Frage 168) sind drei Korrektionen zu berücksichtigen, nämlich:

Antwort. In Antwort der Frage 110 wurde im allgemeinen gezeigt, in welcher Weise man die magnetische Deklination eines Ortes mittels des von *Gauss* konstruierten Magnetometers bestimmt.

Da nun die magnetische Deklination steten und wenn auch noch so kleinen Veränderungen, Variationen, unterworfen ist (siehe die Antw. der Fragen 114—118), mithin die Deklinationsnadel fast nie in Ruhe ist, was man mit blossem Auge meist nicht, wohl aber mit dem Fernrohr des bei dem Magnetometer angewandten Theodolits wahrnehmen kann, so gab *Gauss* (Gauss, Resultate a. d. Beobacht. des magnet. Vereins, Bd. I.) zur genauen Bestimmung derartiger Variationen folgendes Verfahren an:

Sind die Schwingungen des Magnetstabs ns, siehe Figur 107, so klein

1). Die Korrektion auf unendlich kleine (isochrone) Schwingungen, für welche die in der Erkl. 447 aufgestellte Formel:

$$t = \pi . \sqrt{\frac{K}{D}}$$

allein richtig ist.

Diese Korrektion wird folgendermassen angebracht. Ist die bei dem Bogen α beobachtete Schwingungszeit $= t$, so ist dieselbe grösser als die wirkliche Schwingungszeit t_1, unter der Voraussetzung, dass jener Bogen α unendlich klein ist. Nach den Untersuchungen über das Pendel (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik) findet man die Schwingungszeit t_1 für isochrone Schwingungen mittels der Formel:

Formel 31 $$t_1 = \frac{t}{1 + sin^2 \frac{\alpha}{4}} = t\left(1 - \frac{1}{16}\alpha^2\right)$$

(da α ein sehr kleiner Winkel ist, mithin $sin\, \alpha = \alpha$, siehe Erkl. 420, gesetzt werden kann).

Da während den Schwingungsbeobachtungen die Bogen abnehmen, so muss man in dieser Formel für α den Mittelwert: $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ setzen, wenn α_1 die Grösse des ersten Bogens bei Beginn der Beobachtung und α_2 die Grösse des letzten Bogens bei Schluss der Beobachtung bedeutet. Vorstehende Formel geht somit über in:

Formel 32 $$t = t_1 \left(1 - \frac{1}{64}(\alpha_1 + \alpha_2)^2\right)$$

2). Die Korrektion für die Torsion des Aufhängefadens, welche derselbe bei jeder Schwingung des Magnetstabs erleidet.

Ist der Torsionskoeffizient (siehe Erkl. 419) $= \gamma$, so besteht für die wirkliche Schwingungszeit t bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Torsion des Aufhängefadens die Formel:

Formel 33 $$t = t_1 \left(1 + \frac{1}{2}\gamma\right)$$

(siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik).

3). Die Korrektion für etwaige Temperaturveränderung.

Für diese Korrektion hat man nach der in der Erkl. 569 aufgestellten Formel 30:

$$M_1 = M[1 - \alpha(t_1 - t)]$$

geworden, dass man sie nicht mehr mittels des Fernrohrs des Theodolits T auf der in dem Spiegel P erscheinenden Skala HH_1 direkt ablesen kann, so versetze man den Magnetometerstab mittels eines genäherten und wieder entfernten Magnets in solche kleine Schwingungen, welche höchstens 2—3 Skalateile betragen.

Macht der Magnetstab solche Schwingungen, so schloss *Gauss* folgendes:

Für eine kurze Zeit können Aenderungen der magnetischen Deklination als gleichförmig angenommen werden, somit ergibt das Mittel aus den beiden Stellungen der Nadel, welche die Nadel in zwei Augenblicken einnimmt, die um die Dauer einer Schwingung von einander abstehen, die Lage des magnetischen Meridians für das Mittel jener beiden Zeiten.

Will man nach diesem Schlusse die Deklination für eine bestimmte Zeit T bestimmen und bezeichnet man die vorher zu bestimmende Dauer einer jener Schwingungen mit t (siehe Erkl. 571), so hat man nur die Stellungen des Magnetstabs für die Zeiten:

$$T - \tfrac{1}{2}t \text{ und } T + \tfrac{1}{2}t$$

zu beobachten (siehe Antwort der Frage 110) und aus den beiden beobachteten Stellungen das arithmetische Mittel zu nehmen.

Sind z. B. die bei diesen Stellungen des Magnetstabs beobachteten Skalateile $= my + my_1$, so ist das arithmetische Mittel

$$\frac{my + my_1}{2}$$

woraus sich, wie in Antwort der Frage 110 gezeigt wurde, die magnetische Deklination für die Zeit T, bezw. die entsprechende Aenderung dieser Deklination bestimmen lässt. Siehe die Erkl. 571 und 572.

2). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Inklination.

(Indirekte Bestimmung der magnetischen Inklination.)

Frage 200. Wie bestimmt man die Variationen der magnetischen Inklination?

Antwort. In den Antworten der Fragen 119 und 120 wurde gezeigt, in welcher Weise man mittels des Inklinatoriums die magnetischen Inklinationen bestimmen kann. Da jedoch jene Art der direkten Bestimmung der magnetischen Inklination längere Zeit beansprucht, was ganz besonders bei der Bestimmung der Variationen der magnetischen Inklination vermieden werden muss, so versuchte man aus diesem Grunde und auch noch aus den weiteren, in der Erkl. 314 angeführten Gründen die magnetische Inklination als auch deren Variationen auf indirektem Wege zu bestimmen.

In betreff der diesbezügl. Methoden seien hier erwähnt die Methoden von *Lloyd* und *Lamont* (siehe Erkl. 574).

Den von *Lloyd* und *Lamont* angegebenen Methoden der indirekten Inklinationsbestimmung liegt der Satz zu Grunde, dass das magnetische Moment, welches ein weicher Eisenstab infolge der induzierenden Wirkung des Erdmagnetismus (oder eines andern Magnets) erhält, der Wirkung dieser magnetisch induzierenden Kraft proportional ist. Unter Voraussetzung der absoluten Richtigkeit dieses Satzes (siehe Erkl. 576) wird man hiernach für das magnetische Moment M eines vertikalen weichen Eisenstabs, wenn man nach der Erkl. 575 für den Teil der magnetischen Erdkraft, welcher auf jenen vertikalen Eisenstab (aus der Entfernung Eins) induzierend wirkt

$$= J . \sin\psi$$

und für das magnetische Moment des weichen Eisenstabs, welches die Einheit dieser Kraft aus der Entfernung Eins erzeugt $= a$ setzt, die Relation:

$$\frac{M}{a} = \frac{J . \sin\psi}{1}$$

oder:

$$1). \quad .\ .\ .\ .\ M = a . J . \sin\psi$$

erhalten.

Erkl. 573. Der Physiker *Brugmann* war der erste, welcher dem Gedanken nahe trat, die induzierende Wirkung des Erdmagnetismus auf weiches Eisen als Mittel zur Bestimmung der Inklination zu benutzen.

Erkl. 574. Ausführliches über die Inklinationsbestimmungen von *Lloyd* und *Lamont* findet man in:

Lloyd, Account of the magnetical Observatory of Dublin. By the Rev. Humphrey Lloyd, Dublin 1842

und in:

Lamont, Dovés Repertorium, Bd. 7.

Erkl. 575. Ist, siehe Figur 164 (oder Figur 122), ns eine in ihrem Schwerpunkt frei aufgehängte Magnetnadel (Inklinationsnadel), so gibt die Richtung dieser in Ruhe befindlichen Nadel die Richtung der magnetischen Erdkraft an.

Stellt ferner vv_1, siehe Figur 164, einen vertikal gehaltenen weichen Eisenstab dar, so wirkt auf denselben die magnetisch induzierende Kraft der Erde in der Richtung von ns (nämlich, wie vorhin angedeutet, in der Richtung einer in Ruhe befindlichen Inklinationsnadel).

Bezeichnet man die Intensität dieser Kraft mit J, und zerlegt dieselbe nach dem Parallelogramm der Kräfte in zwei solche Komponenten, von denen die eine rechtwinklig auf den Eisenstab in der Richtung Mn_1, die andre in der Längsrichtung des Eisenstabs wirkt, nämlich in der Richtung Mv_1, so hat offenbar von diesen beiden Komponenten der, überdies nur schwach magnetisierenden, magnetischen Erdkraft nur die in der vertikalen Richtung ZZ_1 des Stabs wirkende Komponente auf den induzierten magnetischen Zustand des Stabs Einfluss (was auch durch das Experiment bestätigt wird, indem weiche Eisenstäbe in der Richtung der Inklinationsnadel gehalten am stärksten magnetisch werden, und vertikal gehalten stärker magnetisch werden als horizontal gehalten etc.).

Aus dem bei v_1 rechtwinkligen Dreieck

nv_1M erhält man für die vertikale Komponente Mv_1 die Relation:

$$\sin \measuredangle Mnv_1 = \frac{Mv_1}{Mn}$$

oder da:

$$\measuredangle Mnv_1 = \measuredangle nMn_1 = \psi$$

ist, und:

$$Mn = J$$

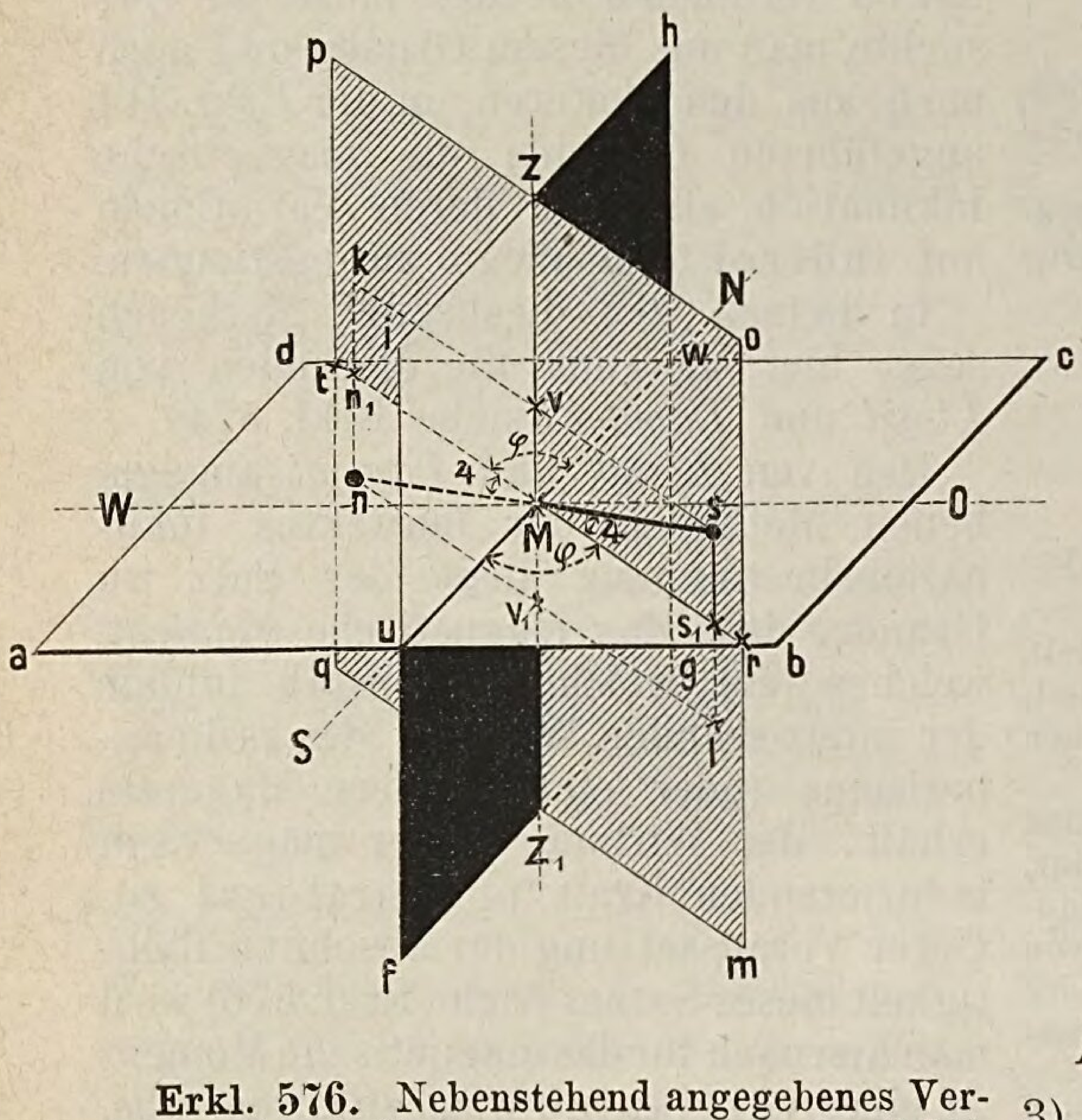
nämlich die totale Intensität des Erdmagnetismus vorstellt:

$$\sin \psi = \frac{Mv_1}{J}$$

und hieraus erhält man für die vertikale Komponente Mv_1:

1). . . . $Mv_1 = J . \sin \psi$

Figur 164.



Erkl. 576. Nebenstehend angegebenes Verfahren der indirekten Bestimmung der Inklination und deren Variationen beruhen auf der Annahme, dass das demselben zu Grunde gelegte Gesetz: „Der im weichen Eisen erregte Magnetismus ist proportional der induzierenden Kraft" richtig sei.

Dieses ist aber keineswegs der Fall, was schon der Umstand beweist, dass auch weiches Eisen, wenn auch nur sehr schwach, mit der Zeit dauernd (permanent) magnetisch wird, folglich auch eine gewisse Koercitivkraft zeigt, was durch die späteren Versuche von *Weber* bewiesen ist. Somit bleibt es noch den zukünftigen Generationen überlassen, im Laufe der Zeit zu prüfen, ob sich mittels der erwähnten Methoden die Inklination hinreichend genau bestimmen lässt (siehe auch die folgenden Erkl. 577 und 578).

Lässt man nun einen solchen vertikal gehaltenen weichen Eisenstab, welcher wie vorstehen derwähnt, der induzierenden Wirkung des Erdmagnetismus ausgesetzt ist, so auf eine in horizontaler Ebene drehbare Magnetnadel aus der Entfernung r wirken, dass das eine Ende des Eisenstabs in der horizontalen Ebene liegt, in welcher sich die Magnetnadel dreht und dass die Verbindungslinie dieses Stabendes mit dem Drehpunkt der Nadel senkrecht zu dem magnetischen Meridian jener Nadel ist, so hat man in bezug auf die Wirkung des Stabendes auf die Magnetnadel die durch die Figur 147 dargestellte sogen. erste Hauptlage und es besteht zwischen dem magnetischen Moment M des in dem Eisenstab erregten Magnetismus und dem magnetischen Moment M_1 der Nadel nach Antwort der Frage 177 und unter Berücksichtigung, dass die Direktionskraft der (klein zu denkenden) Nadel in bezug auf die Wirkung des einen Pols des vertikal gehaltenen weichen Eisenstabs = Eins angenommen wurde, die Relation:

2). . $M . M_1 = r^3 . tg u$

wenn u den Winkel bedeutet, um welchen die Nadel, infolge der Einwirkung des magnetisierten Eisenstabs auf diese Nadel, von ihrem magnetischen Meridian abgelenkt wird.

Aus den Gleich. 1). und 2). erhält man:

3). $a . J . \sin\psi . M_1 = r^3 . tg u$

Da nun für die horizontale Komponente, bezw. für die Horizontalintensität i der magnetischen Erdkraft (aus der Entfernung Eins wirkend gedacht) nach der Formel 26 die Relation besteht:

4). $J . \cos\psi = i$

so erhält man durch Division der Gleichungen 3). und 4).:

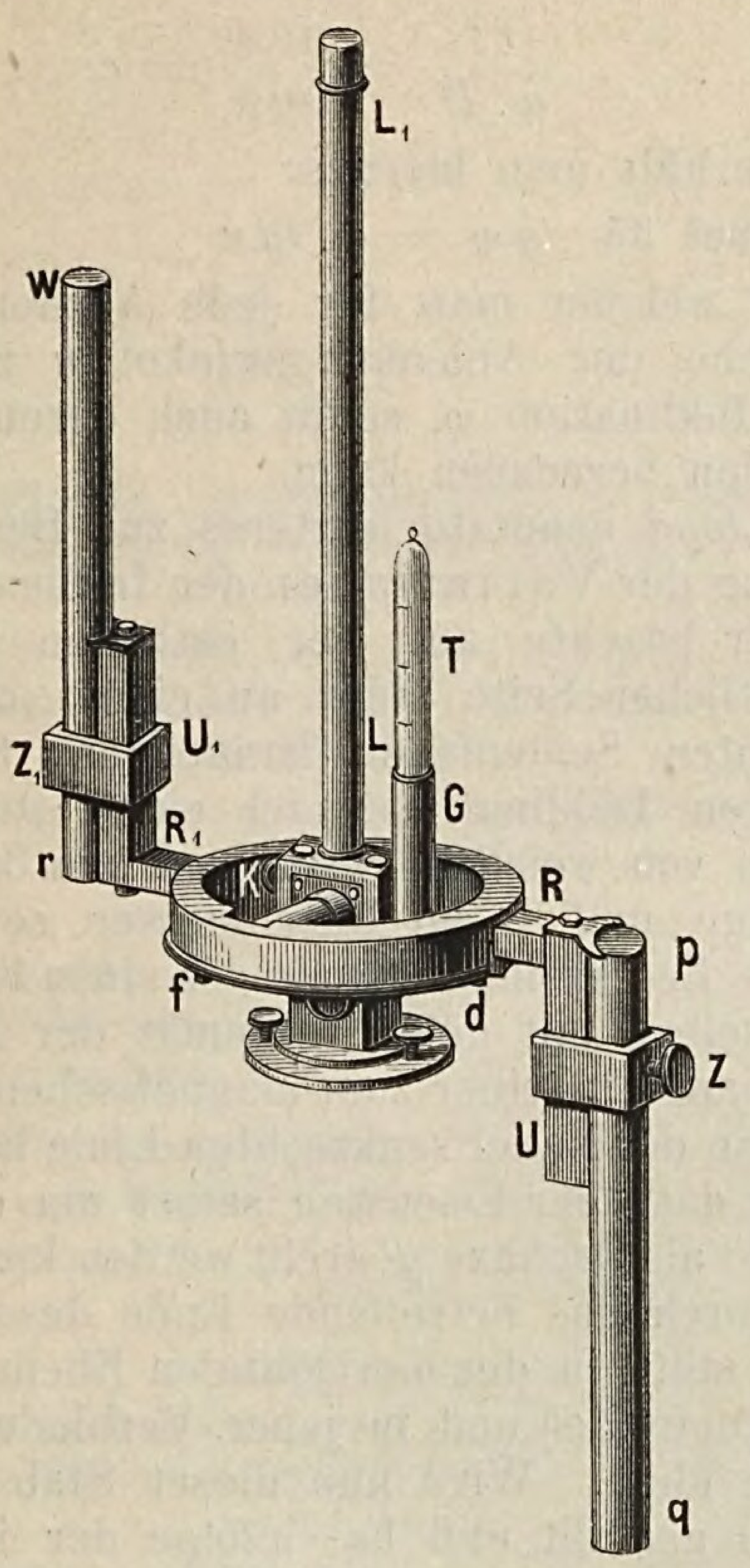
$$a \cdot \frac{J . \sin\psi}{J . \cos\psi} \cdot M_1 = \frac{r^3}{i} \cdot tg u$$

oder:

$$a . M_1 . tg \psi = \frac{r^3}{i} \cdot tg u$$

mithin:

Figur 165.



Erkl. 577. Um den für den Fall entstandenen Fehler, dass das den nebenstehend erwähnten Methoden zu Grunde liegende Gesetz (siehe die vorige Erkl. 576) nicht absolut richtig sein sollte, und um auch noch etwaige andre Fehler möglichst zu kompensieren, bestimmt man den Ablenkungswinkel u nicht durch eine einzige Beobachtung, sondern man macht mehrere Beobachtungen bei verschiedenen Stellungen der Eisenstäbe und nimmt aus allen Beobachtungen das arithmetische Mittel.

In betreff der verschiedenen Stellungen, welche man den Eisenstäben pq und rw in bezug auf das abzulenkende Magnetstäbchen und in bezug auf die magnetische induzierende Kraft geben kann, sind folgende Fälle möglich:

Stellt, siehe die Figuren 166—173, m den Querschnitt des abzulenkenden Magnetstabs durch dessen Drehaxe dar, so kann die Stellung der Eisenstäbe pq und rw in bezug auf diesen unverändert liegend gedachten Querschnitt m, und in bezug auf die magnetische induzierende Kraft der Erde sein:

1). wie in der Figur 166;

2). wie in der Figur 167, nämlich wie in der Figur 166, nur ist der Ring RR_1, siehe Figur 165, um 180° gedreht;

3). wie in der Figur 168, nämlich wie in

$$5). \ldots . \quad tg\psi = \frac{r^3}{a \,.\, M_1 \,.\, i} \cdot tg u$$

Da ferner in bezug auf das Drehungsmoment D, welches die erdmagnetische Kraft auf die um 90° aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkte Nadel ausübt, dem magnetischen Moment M_1 der Nadel und der horizontalen Komponente i der aus der Entfernung Eins wirkend gedachten magnetischen Erdkraft nach den Formeln 9 und 27 die Relation besteht:

$$6). \ldots . \quad M_1 \,.\, i = D$$

so erhält man aus den Gleichungen 5). und 6). die

$$\textbf{Formel 34} \quad tg\psi = \frac{r^2}{a \,.\, D} \cdot tg u$$

Mittels dieser Relation lässt sich die Inklination ψ auf indirekte Weise bestimmen; hat man nämlich die Direktionskraft D der benutzten Deklinationsnadel, die Konstante a und den Ablenkungswinkel u in bezug auf eine gewisse Entfernung r und unter der gemachten Voraussetzung bestimmt, so ergibt sich ψ durch Rechnung auch ohne direkte Messung.

Ist einmal auf vorstehend angegebene indirekte, und zur Vergleichung auch auf die früher angegebene direkte Weise die Inklination bestimmt, so kann man mittels vorstehender Formel 34 durch etwas einfachere Weise die Variationen der Inklination bestimmen. Lässt man nämlich den Eisenstab immer in derselben Weise, nach welcher die Inklination ein für allemal bestimmt wurde, auf die Magnetnadel wirken, so bleiben die Grössen r, a und D unverändert und es ändert sich die Inklination ψ nur, wenn sich der Ablenkungswinkel u ändert, der Faktor:

$$\frac{r^3}{a \,.\, D}$$

nimmt somit einen konstanten Wert an, welchen man auch aus der Formel 34, wenn ψ ein für allemal bekannt ist, berechnen kann, man erhält nämlich:

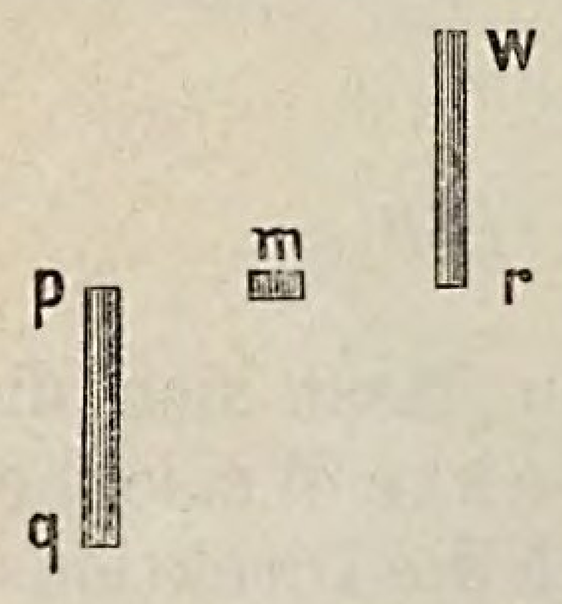
$$7). \ldots . \quad \frac{r^3}{a \,.\, D} = \frac{tg\psi}{tg u}$$

der Figur 166, nur ist der Ring RR_1 mit seiner oberen Fläche auf die Messingplatte fd gelegt;

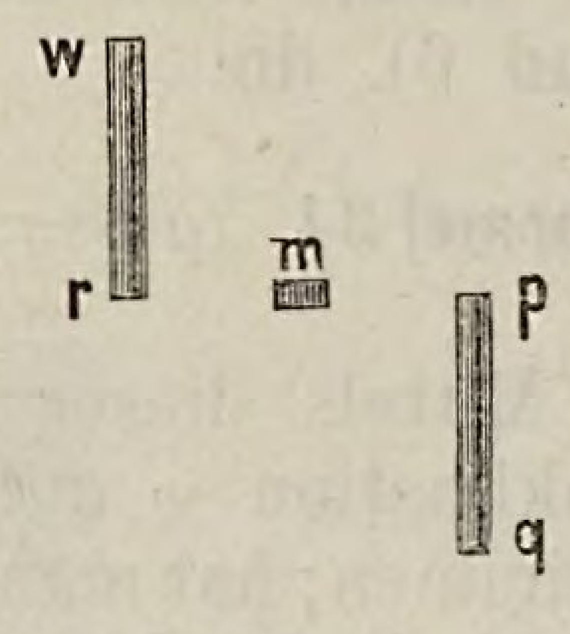
4). wie in der Figur 169, nämlich wie in der Figur 168, nur ist der Ring RR_1 um 180° gedreht;

5). wie in der Figur 170
6). wie in der Figur 171
7). wie in der Figur 172
8). wie in der Figur 173
} diese vier Lagen stellen dieselben Lagen wie die Figuren 166—169 dar, nur hat man sich jedesmal die Eisenstäbe aus den Armen U und U_1, siehe Figur 165, herausgenommen und umgekehrt zu denken.

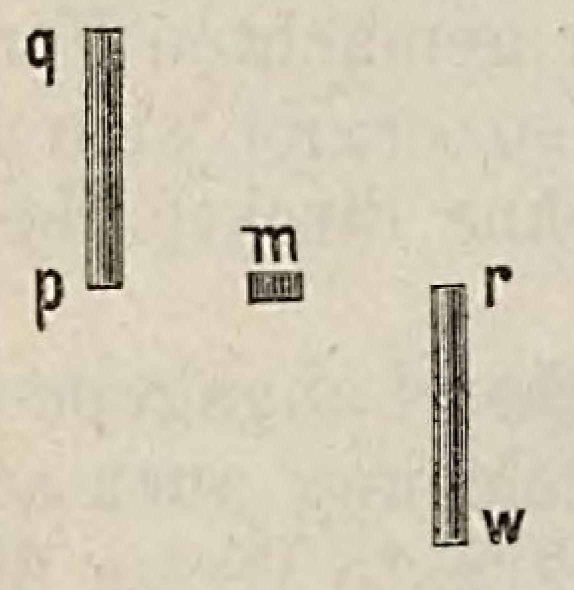
Figur 166.



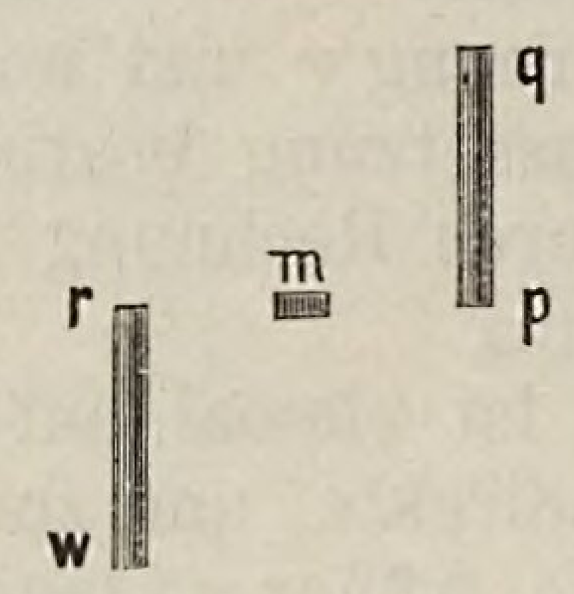
Figur 167.



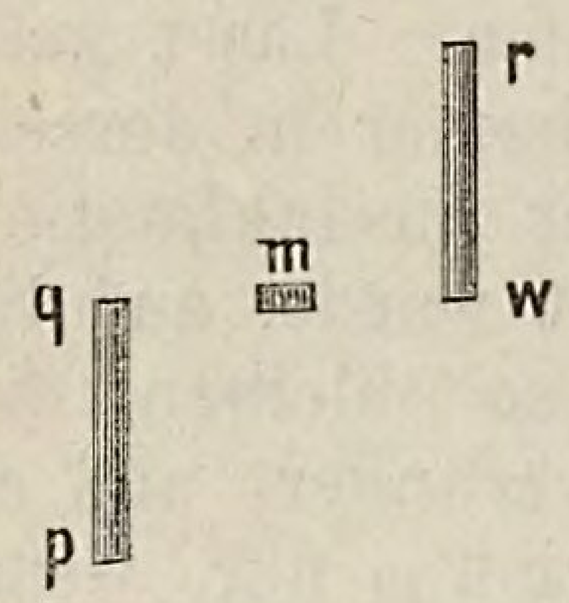
Figur 168.



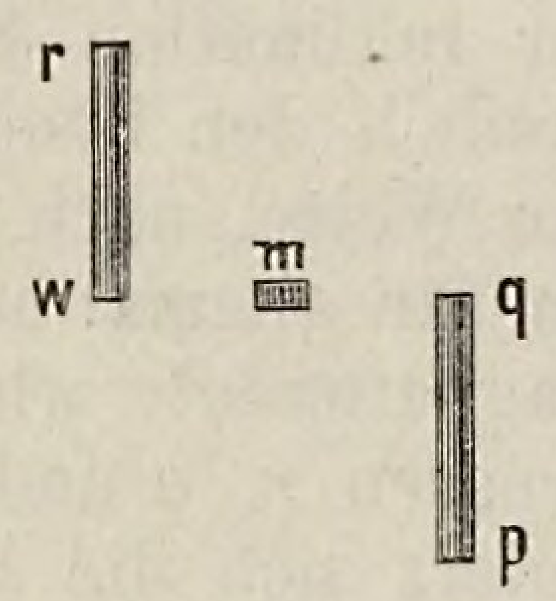
Figur 169.



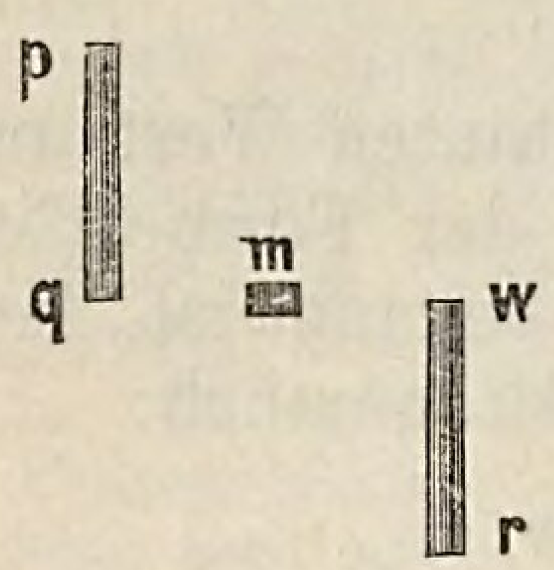
Figur 170.



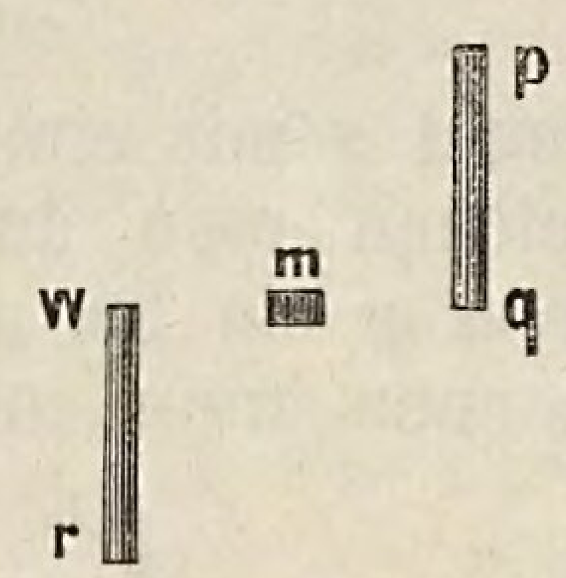
Figur 171.



Figur 172.



Figur 173.



Setzt man hiernach:

$$8). \quad \dots \quad \frac{r^3}{a \, . \, D} = \frac{tg\,\psi}{tg\,u} = c$$

so erhält man hieraus:

Formel 35 $tg\,\psi = c \, . \, tg\,u$

aus welcher man für jede Aenderung, welche der Ablenkungswinkel u zeigt, die Inklination ψ, somit auch deren Variation berechnen kann.

Lloyd benutzte letzteres zur Bestimmung der Variationen der Inklination. Er brachte auf der östlichen oder westlichen Seite einer an einem ungedrehten Seidenfaden hängenden, 8 cm langen Deklinationsnadel einen runden Stab von weichem Eisen und von 30 cm Länge und 2 cm Durchmesser so an, dass die Verbindungslinie des einen Endes desselben mit dem Drehpunkt der Magnetnadel in einer zum magnetischen Meridian der Nadel senkrechten Linie lagen, und dass der Eisenstab selbst um diese Linie als Drehaxe gedreht werden konnte, wodurch das betreffende Ende des Stabes stets in der horizontalen Ebene der Magnetnadel und in jener Verbindungslinie blieb. Wird nun dieser Stab vertikal gestellt und hat infolge der induzierenden Kraft des Erdmagnetismus magnetische Kraft angenommen, so wird er die Nadel um einen gewissen Winkel von ihrem magnetischen Meridian ablenken. Aus diesem beobachteten Ablenkungswinkel, und der nach vorstehendem bestimmten Konstanten c, kann zu jeder Zeit mittels der Formel 35 die Inklination ψ berechnet werden.

Lamont benutzte ebenfalls die durch die Formeln 34 und 35 aufgestellten Beziehungen, um mittels seines magnetischen Reisetheodolits, siehe Erkl. 264, die magnetische Inklination indirekt bestimmen zu können. Er änderte den durch die Figuren 112 und 113 dargestellten magnetischen Reisetheodolit in entsprechender Weise dahin um, dass die den Aufhängefaden aufnehmende Röhre LL_1 mitsamt dem Magnetgehäuse K abgeschraubt und durch in Figur 165 dargestellte Vorrichtung ersetzt werden konnte.

Diese Vorrichtung besteht in folgendem: Auf dem Magnetgehäuse K, welches im allgemeinen wie in der Figur 112 ist, wird die Messingplatte df aufgesetzt. Auf diese Messingplatte df, welche zur Aufnahme des Thermometers T die Hülse G trägt, sitzt der massive Messingring RR_1, welcher überall gleiche Dicke hat, beiderseits glatt abgeschliffen ist und die zwei seitlich abstehenden Arme U und U_1 trägt; von letzteren ist der eine nach unten, der andre nach oben gerichtet. An diese Arme sind zwei runde, weiche Eisenstäbe mittels der Schrauben Z und Z_1 befestigt. Die Röhre LL_1 enthält wie in der Figur 112 am oberen Ende die Aufhängevorrichtung des in dem Magnetgehäuse befindlichen Magnetstäbchens. Um mittels dieses Instruments die Inklination zu bestimmen, verfährt man folgendermassen:

Zuerst wird die in der Figur 165 dargestellte Vorrichtung, und zwar ohne den Messingring RR_1 mit den daran befestigten Armen U und U_1, auf den magnetischen Theodolit, siehe Figur 112, aufgeschraubt; dann wird das Instrument wie bei der Deklinationsbestimmung, siehe Erkl. 264, hergerichtet, und mittels der Nonien an dem Horizontalkreis BB_1 der Stand des Instruments abgelesen; dann wird der Ring RR_1 mit den weichen Eisenstäben pq und rw so auf die Messingplatte fd gesetzt, dass die Vertikalebene, in welcher die Axen der Eisenstäbe pq und rw liegen müssen, senkrecht auf dem magnetischen Meridian des Ortes steht (dass also die Eisenstäbe in östlicher und westlicher Richtung von dem Magnetstäbchen ns zu stehen kommen); dann werden mittels der Schrauben Z und Z_1 die Eisenstäbe so reguliert, dass das untere Ende des einen und das obere Ende des andern Eisenstabs mit der Mitte des Magnetstäbchens in horizontaler Ebene zu liegen kommt. Infolge dieser Stellung der Eisenstäbe wirken nämlich auf das Magnetstäbchen zwei Kräfte a b l e n k e n d und bewirken in gleichem Sinne eine Drehung desselben, weil die induzierende Kraft des Erdmagnetismus in dem unteren Ende des nach oben ge-

Erkl. 578. In dem Jahre 1850 fand *Lamont* für München die Grösse der Inklination:

$$\psi = 64^0\,59{,}5'$$

und für den Ablenkungswinkel u an dem durch die Figur 165 dargestellten Instrument:

$$u = 20^0\,18{,}4'$$

somit ist nach der umstehenden Gleichung 8).:

$$1). \quad \ldots \quad c = \frac{tg\,64^0\,59{,}5'}{tg\,20^0\,18{,}4'}$$

woraus sich der konstante Wert c für jenes Instrument wie folgt ergibt:

$$log\,c = log\,tg\,64^0 59{,}5' - log\,tg\,20^0 18{,}4'$$

$$\begin{aligned} \text{Nun ist:} \quad log\,tg\,64^0 59{,}5' &= 0{,}3311626 \quad (+10) \\ -\,log\,tg\,20^0 18{,}4' &= 9{,}5403856 - 10 \quad (-10) \\ & \quad - \qquad\quad + \\ log\,c &= 0{,}7907770 \\ & \quad\;\; 7706 \end{aligned}$$

mithin:

$$2). \quad \ldots \quad c = 6{,}1769 \text{ oder } = 6{,}1777$$

Mit demselben Instrument fand *Lamont* im Jahre 1850 zu Aschaffenburg eine Ablenkung:

$$u = 22^0\,1'$$

mithin hat man nach nebenstehender Formel 35 zur Berechnung der Inklination ψ für Aschaffenburg die Gleichung:

$$3). \quad \ldots \quad tg\,\psi = 6{,}1777 \,.\, tg\,22^0\,1'$$

Hieraus erhält man ψ wie folgt:

$$log\,tg\,\psi = log\,6{,}1777 + log\,tg\,22^0 1'$$

$$\begin{aligned} \text{Nun ist:} \quad log\,tg\,22^0 1' &= 9{,}6067732 - 10 \\ +\,log\,6{,}1777 &= 0{,}7908268 \\ log\,tg\,\psi &= 10{,}3976000 - 10 \\ & \qquad\quad 6047 \end{aligned}$$

mithin abgerundet:

$$\psi = 68^0\,11'$$

kehrten Eisenstabs *rw* einen Nordpol, in dem oberen Ende des nach unten gekehrten Eisenstabs *pq* einen Südpol erzeugt. Zur Messung der Grösse der hierdurch hervorgerufenen Ablenkung hat man die Kreisscheibe DD_1, siehe Figur 112, so lange zu drehen, bis die Axe des Magnetstäbchens wieder in die Richtung der Fernrohraxe zu liegen kommt, d. h. bis die Axe des Fernrohrs wieder senkrecht auf dem Spiegel *P* steht, also die beiden Bilder des Vertikalfadens des Fadenkreuzes im Fernrohr wieder zusammenfallen, und dann die Gradteilung des Horizontalkreises BB_1 mittels der Nonien wieder abzulesen. Die Differenz dieser und der früheren Winkelablesung gibt die Grösse der durch die Eisenstäbe *pq* und *rw* hervorgerufenen Ablenkung *u* des Magnetstäbchens an.

Aus der Formel 35 findet man hiernach, für *u* und *c* die gefundenen Werte substituiert, die Grösse der Inklination ψ.

Erkl. 579. Da der in den weichen Eisenstäben *pq* und *rw*, siehe Figur 165, infolge der induzierenden magnetischen Kraft der Erde erregte Magnetismus sich mit der Zeit ändert, somit also auch die Konstante *a*, siehe Formel 34, abhängig ist von der Temperatur, zu deren Beobachtung an dem Instrument das Thermometer *T* angebracht ist, so hat man bei einer Temperaturveränderung die Konstante *a* entsprechend zu korrigieren, bezw. statt *a* den sich aus der Formel 30:

$$a_1 = a\,[1 - \alpha\,(t_1 - t)]$$

(siehe Formel 30 in der Erkl. 568)

ergebenden Wert für a_1 in Betracht zu ziehen. α bedeutet in dieser Formel den Schwächungskoeffizient, *t* die Temperatur für *a*, t_1 die Temperatur für a_1. Im übrigen siehe die Erkl. 572.

3). Ueber die Bestimmung der Variationen der magnetischen Intensität.

Frage 201. Wie bestimmt man die Variationen der magnetischen Intensität des Erdmagnetismus?

Antwort. In der Antwort der Frage 191 wurde gezeigt, in welcher Weise man die magnetische Intensität des Erdmagnetismus bestimmen kann. Auf gleiche Weise liessen sich auch die Variationen derselben bestimmen, wenn nicht bei jenem angegebenen Verfahren zwei von einander getrennte Beobachtungen (siehe Erkl. 536), nämlich:

1). die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab (der Ablenkungsstab) auf eine Deklinationsnadel hervorbringt, und
2). die Beobachtung der Schwingungszeit, welche jener Ablenkungsstab unter dem Einfluss der Erde macht,

notwendig wären, welche beide eine gewisse Zeit beanspruchen und man hiernach nicht weiss, ob sich in dieser Zeit die Intensität geändert hat.

Erkl. 580. Im Gegensatz zu dem von *Gauss* konstruierten „Bifilarmagnetometer“ (siehe folgende Antwort) heisst das früher erwähnte, von *Gauss* konstruierte Magnetometer das „Unifilarmagnetometer“.

Ausführliches über das Bifilarmagnetometer findet man in den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins zu Göttingen, Bd. II.

Da nun die Beobachtung der Schwingungsdauer jenes Ablenkungsstabs, welche die meiste Zeit beansprucht, indirekt dazu dient, das Drehungsmoment D zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft diesem Stab erteilt, wenn er aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, so versuchte man, um bei der Bestimmung der Variationen der magnetischen Intensität jene beiden Operationen zu vereinfachen, das Drehungsmoment D auf direktem Wege zu bestimmen.

Gauss gelang dies in vortrefflicher Weise mit Hülfe der Konstruktion seines sogenannten Bifilarmagnetometers (siehe die Antwort der folgenden Frage und Erkl. 581).

Erkl. 581. Das Wort Bifilar ist eine Kombination der lateinischen Wörter bini (d. h. je zwei) und filum (d. h. der Faden). In analoger Weise ist das Wort Unifilar eine Kombination der lat. Wörter uni (d. h. einzig) und filum (d. h. der Faden).

Frage 202. Worauf beruht die Einrichtung des *Gauss*schen Bifilarmagnetometers?

Antwort. Die Einrichtung des *Gauss*schen Bifilarmagnetometers beruht auf folgenden, der Mechanik entnommenen Gesetzen (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik):

Wird irgend ein Körper A, siehe die Figuren 174 und 175, an zwei gleichen parallel gerichteten Fäden ab und cd aufgehängt, so befindet sich dieser Körper A nur dann im Gleichgewicht, wenn jene beiden Fäden ihrer ganzen Länge nach in der Vertikalebene liegen, in welcher sich der zwischen den parallelen Fäden liegende Schwerpunkt des Körpers A befindet.

Wird der Körper A durch eine Drehung aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht, so werden hierdurch die vorstehenden Gleichgewichtsbedingungen gestört, indem alsdann die Fäden ab und cd spiralförmig gewunden werden und der Körper selbst etwas gehoben wird.

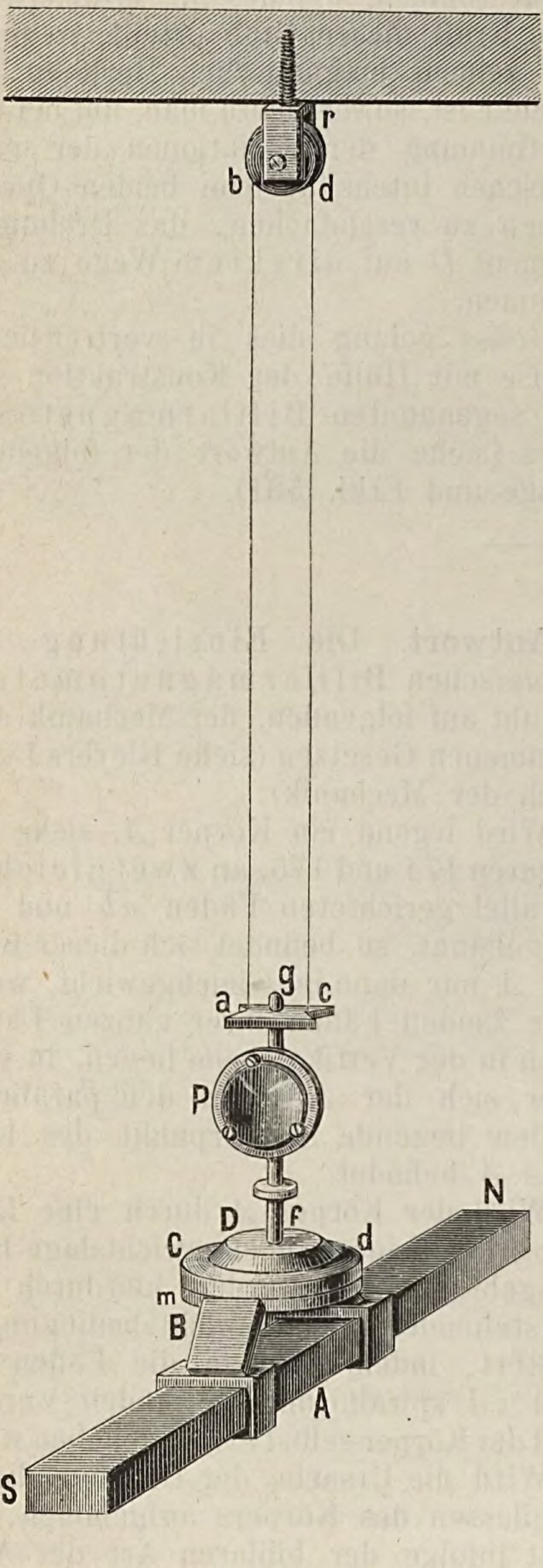
Wird die Ursache der Drehung durch Freilassen des Körpers aufgehoben, so tritt infolge der bifilaren Art der Aufhängung eine Kraft auf, welche den Körper mit einem Drehungsmoment in seine frühere Lage zurückzuführen sucht, welches dem Sinus des horizontal gemessenen Drehungswinkels proportional ist (siehe Erkl. 418 und 436).

Erkl. 582. Das Drehungsmoment, mit welchem der in den Figuren 174 und 175 mit A bezeichnete und aus seiner Gleichgewichtslage herausgedrehte Körper in seine frühere Lage zurückgebracht wird, lässt sich experimentell auf direkte Weise bestimmen, indem man berücksichtigt, dass die Direktionskraft R, welche bestrebt ist, den Körper in seine frühere Gleichgewichtslage zu bringen, in ähnlicher Weise wie die magnetische Direktionskraft wirkend gedacht werden kann, dass somit das Drehungsmoment desselben, bezw. die Grösse der Direktionskraft R selbst, wenn der Körper um 90° aus seiner Gleichgewichtslage gedreht wurde (siehe Erkl. 427), nach der in der Erkl. 451 aufgestellten Formel:

$$D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

gefunden werden kann, sobald man das Trägheitsmoment K des durch die Drehung in horizontale Schwingungen versetzten Körpers A, und die Schwingungsdauer t für solche Schwingungen des Körpers A beobachtet, welche als isochron (siehe Erkl. 422) betrachtet werden können.

Figur 174.



Diese Kraft, vermöge deren Wirkung der Körper A stets seine Gleichgewichtslage wieder einzunehmen sucht, ist in bezug hierauf eine richtende, eine sogenannte Direktionskraft, ähnlich wie die magnetische Direktionskraft. Diese Direktionskraft sei zum Unterschied von der letztern mit R bezeichnet.

Die Grösse dieses Drehungsmoments, bezw. die Grösse der diese Zurückführung verursachenden Direktionskraft R selbst, sobald die Drehung 90° betrug (siehe Erkl. 427), ist abhängig von der Länge und dem Abstande der Fäden ab und cd, sowie von der Grösse des Gesamtgewichts, welches diese Fäden zu tragen haben. Diese Abhängigkeit wird durch das Gesetz ausgedrückt, dass jenes Drehungsmoment, bezw. die Grösse der Direktionskraft R, der Länge der Fäden umgekehrt dem Quadrat ihres Abstands und der Grösse des Gewichts direkt proportional ist (siehe Kleyers Lehrb. der Mechanik und die Erkl. 580).

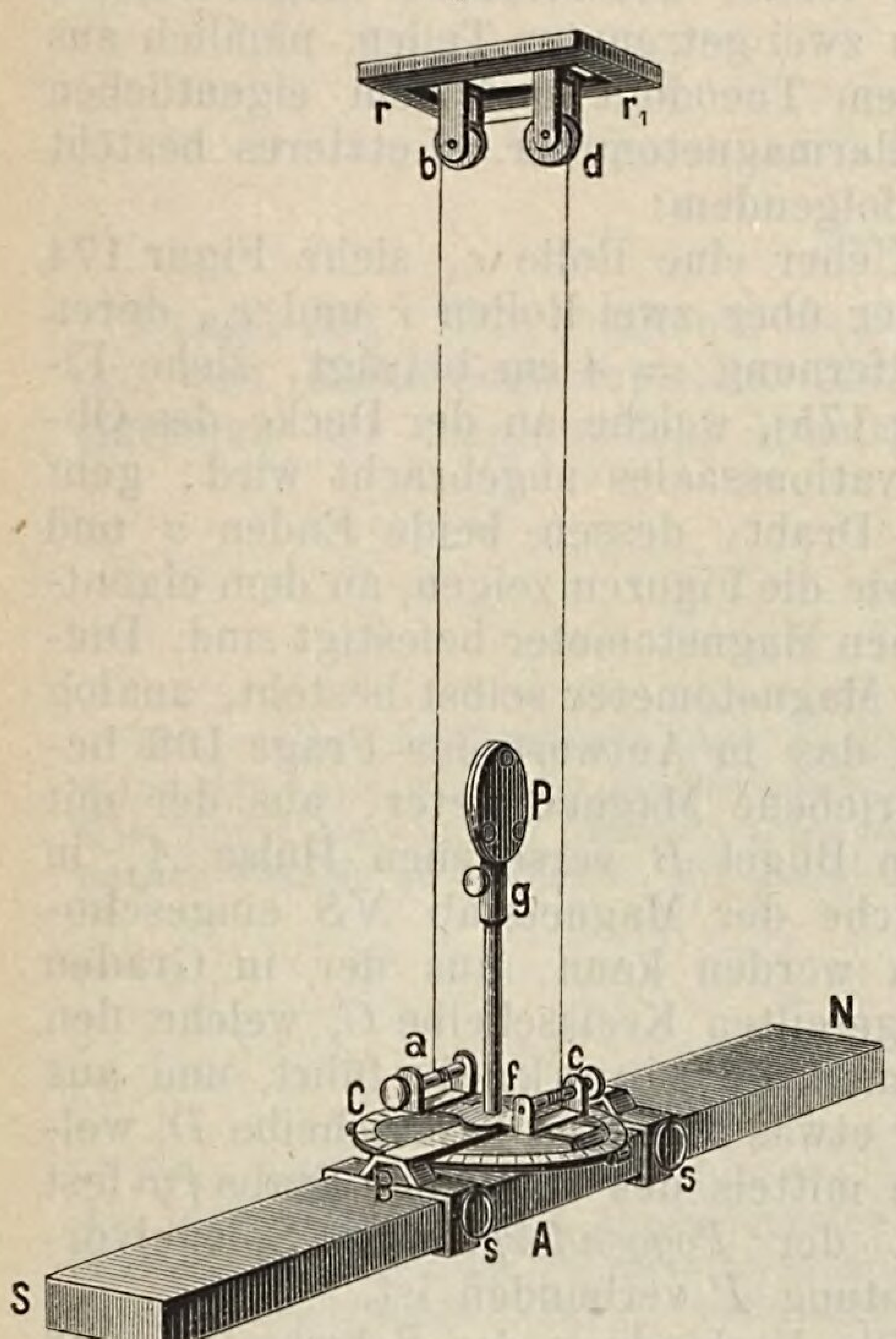
Auf diesen Gesetzen beruht die Einrichtung des *Gauss*schen Bifilarmagnetometers.

Verbindet man nämlich den nach vorstehendem aufgehangenen Körper A, siehe die Figuren 174 und 175, mit dem Magnetstab NS, d. h. denkt man sich einen Teil des Körpers A durch den Magnetstab NS ersetzt, so hat man es bei jeder Drehung des Körpers A mit der Wirkung zweier Kräfte zu thun, nämlich mit der Direktionskraft R, welche, wie vorstehend erwähnt, eine Folge der Art der Aufhängung ist, und mit der magnetischen Direktionskraft D des Magnetstabs NS. Je nach der Lage des Magnetstabs NS kann man drei Fälle unterscheiden, nämlich:

1). Die magnetische Axe des Magnetstabs ist senkrecht zu der durch die Aufhängefäden ab und cd gehenden und zum magnetischen Meridian des Ortes senkrecht stehenden Vertikalebene, dabei in ihrer natürlichen Lage, Nordpol nach Norden, Südpol nach Süden.

In diesem Falle ist der Apparat, nämlich der Körper A mitsamt dem magnetischen Teil NS desselben, im Gleichgewicht,

Figur 175.



indem letzterer auch in bezug auf die magnetische Direktionskraft in der Gleichgewichtslage gehalten wird. Die Kraft, mit welcher bei dieser Lage des Magnetstabs und der entsprechenden Stellung der Fäden *ab* und *cd* der ganze Körper *A* in der Gleichgewichtslage gehalten wird, ist gleich der Summe jener beiden Direktionskräfte *R* und *D*.

2). Die magnetische Axe des Magnetstabs ist wie unter 1). senkrecht zu der durch die Aufhängefäden *ab* und *cd* gehenden und zum magnetischen Meridian des Ortes senkrecht stehenden Vertikalebene, nur in umgekehrter Lage, Nordpol nach Süden, Südpol nach Norden.

In diesem Falle ist wiederum der Apparat, nämlich der Körper *A* mitsamt dem magnetischen Teil *NS* desselben, im Gleichgewicht, sobald die magnetische Direktionskraft *D* des letzteren kleiner als die Direktionskraft *R* des ganzen Körpers ist. (Ist $R < D$, so würde sich der Körper *A* so lange drehen, bis die magnetische Axe *NS* ihre natürliche Lage eingenommen hat.)

Die Kraft, mit welcher bei dieser Lage des Magnetstabs und der entsprechenden Stellung der Fäden *ab* und *cd* der ganze Körper *A* in der Gleichgewichtslage gehalten wird, ist gleich der Differenz der beiden Direktionskräfte *R* und *D*.

3). Die magnetische Axe des Magnetstabs ist schief zu der durch die Aufhängefäden *ab* und *cd* gehenden und zum magnetischen Meridian des Ortes senkrecht stehenden Vertikalebene.

In diesem Falle wird der Apparat, nämlich der Körper *A* mitsamt dem magnetischen Teil *NS* desselben, bezw. die magnetische Axe des Magnetstabs *NS* eine solche Lage annehmen, welche bestimmt ist durch das Verhältnis der Direktionskräfte *R* und *D* und dem Winkel, welchen diese Axe mit der oben erwähnten Vertikalebene bildet.

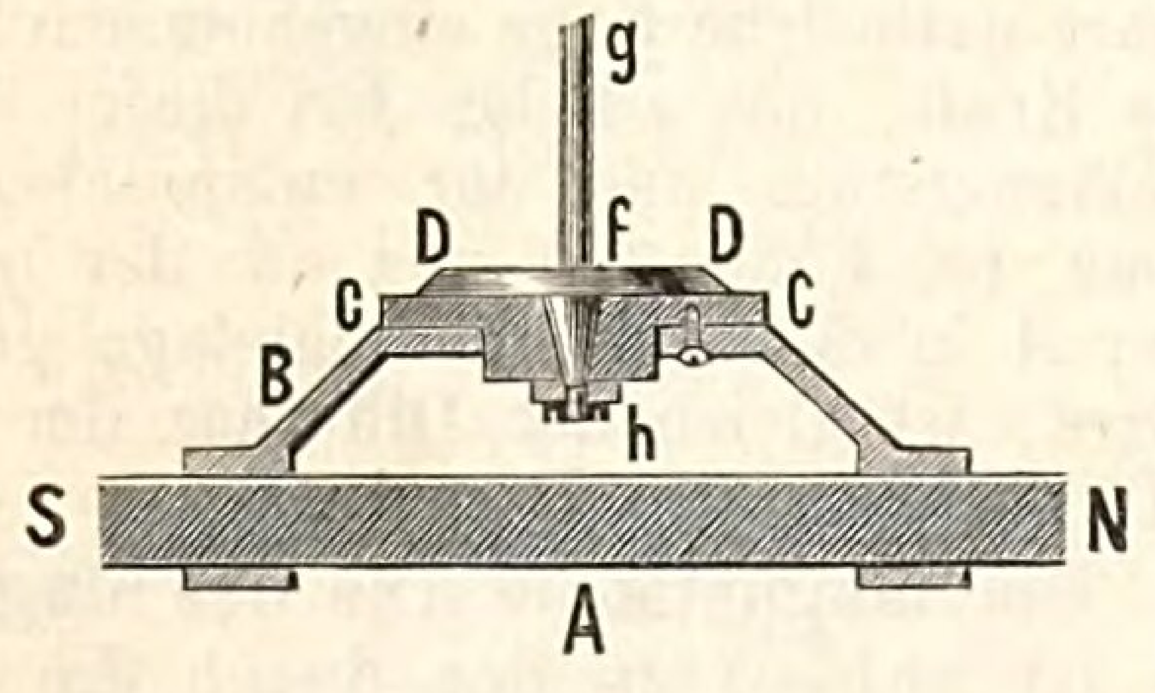
Diesen dritten Fall benutzte *Gauss* bei der Konstruktion seines Bifilarmagnetometers; denn bei jeder Aenderung einer der drei Grössen: Direktionskraft *R*, Winkel der magnetischen Axe des Magnetstabs *NS* mit der durch die Aufhängefäden *ab* und *cd* gehenden und zum magnetischen Meridian des Ortes senkrecht stehenden Vertikalebene, magnetische Direktionskraft *D* des Stabs *NS*,

ändert sich auch die Stellung der magnetischen Axe des Magnetstabs NS; kennt man hiernach jenen Winkel und die Direktionskraft R, oder wenigstens das Verhältnis dieser zur magnetischen Direktionskraft D des Stabs, so kann man letztere berechnen.

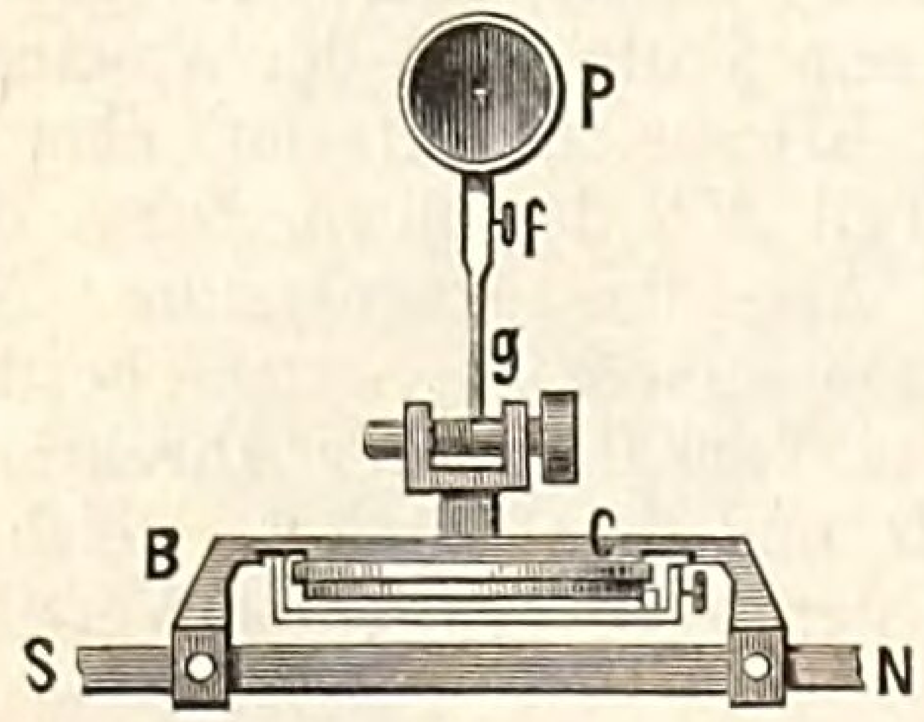
Frage 203. Worin besteht die Einrichtung des *Gauss*schen Bifilarmagnetometers?

Erkl. 583. Die auf der Kreisscheibe C, siehe die Figuren 174—176, angebrachte Gradeinteilung hat den Zweck, um mittels zweier an dem Bügel B, bezw. an der mit ihm fest verbundenen Kreisscheibe m (siehe Figur 174) angebrachten Nonien die Stellung des Bügels B, bezw. des in der Hülse A liegenden Magnetstabs NS ablesen zu können.

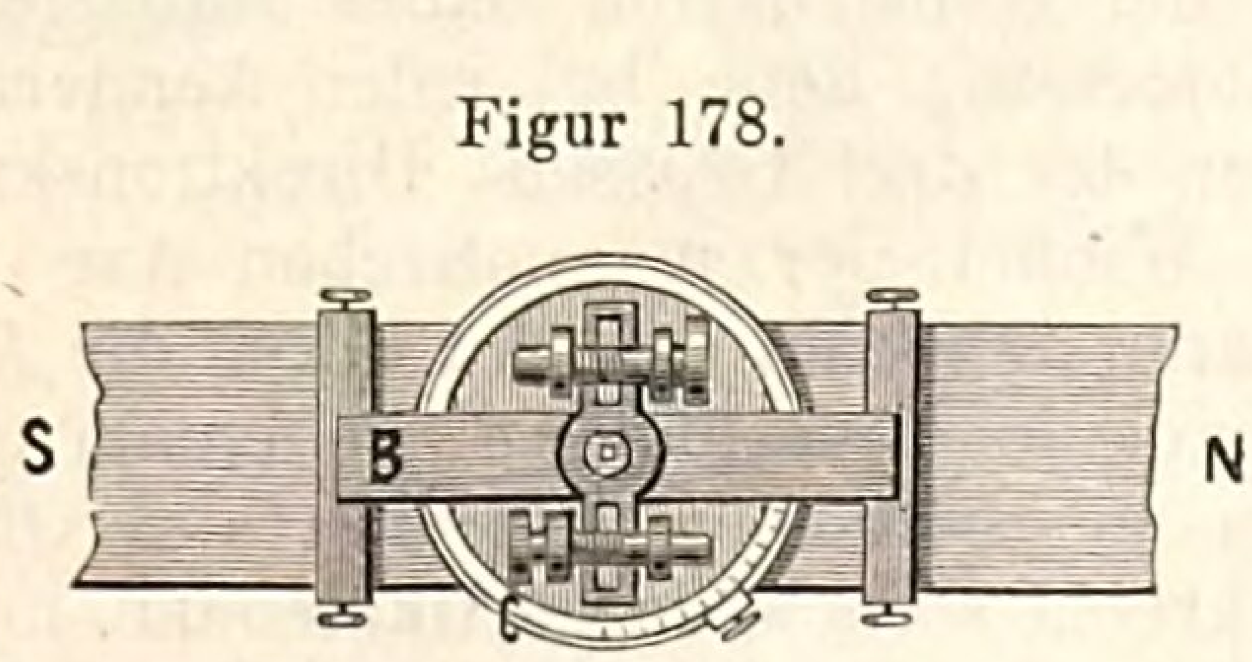
Figur 176.



Figur 177.



Figur 178.



Antwort. Die Einrichtung eines *Gauss*schen Bifilarmagnetometers besteht wie das früher beschriebene Magnetometer aus zwei getrennten Teilen, nämlich aus einem Theodolit und dem eigentlichen Bifilarmagnetometer. Letzteres besteht in folgendem:

Ueber eine Rolle r, siehe Figur 174 (oder über zwei Rollen r und r_1, deren Entfernung = 4 cm beträgt, siehe Figur 175), welche an der Decke des Observationssaales angebracht wird, geht ein Draht, dessen beide Enden a und c, wie die Figuren zeigen, an dem eigentlichen Magnetometer befestigt sind. Dieses Magnetometer selbst besteht, analog wie das in Antwort der Frage 108 beschriebene Magnetometer, aus der mit dem Bügel B versehenen Hülse A, in welche der Magnetstab NS eingeschoben werden kann, aus der in Graden eingeteilten Kreisscheibe C, welche den Namen Torsionskreis führt, und aus der etwas kleineren Kreisscheibe D, welche mittels des vertikalen Stabs fg fest mit der *Poggendorff*schen Spiegelvorrichtung P verbunden ist.

Die Verbindung der Scheiben C und D mit der Scheibe m des Bügels B ist wie die Detailfiguren 176—178 (siehe Erkl. 584) zeigen; der den Spiegel P tragende Stab fg ist fest mit der Scheibe D verbunden, geht dann in Form eines Konus durch die Scheibe C und wird unterhalb der Scheibe m des Bügels B mittels einer Klemmschraube h festgehalten. Diese Art der Verbindung gestattet, dass man bei Lösung der Klemmschraube h die in Grade eingeteilte Scheibe C, und auch die Scheibe m mitsamt dem Bügel und dem Magnetstab NS, um den Konus, bezw. um den Stab

fg drehen kann, wodurch es möglich wird, dass man mittels der an der Scheibe *m* angebrachten Nonien jede Drehung des Magnetstabs *NS* und auch mittels der an der Scheibe *D* angebrachten Nonien jede Drehung der Scheibe *C* in bezug auf den Stab *fg* oder die Fäden *ab* und *cd* ablesen kann.

Was den andern Teil des Bifilarmagnetometers, nämlich den Theodolit betrifft, so ist derselbe genau so eingerichtet und mit einer Skala versehen, wie der früher beschriebene Magnetometer; derselbe wird so aufgestellt, dass der Spiegel *P* in das Fernrohr desselben reflektiert.

Erkl. 584. Die Figur 176 stellt die Befestigungsweise des Bügels *B* mit der Kreisscheibe *C* etc. im Durchschnitt dar und zwar für das durch die Figur 174 dargestellte Bifilarmagnetometer.

Die Figuren 177 und 178 stellen die entsprechenden Befestigungsweisen, im Auf- und Grundriss, für das durch die Figur 175 dargestellte ältere Bifilarmagnetometer dar.

Frage 204. Wie bestimmt man mittels des Bifilarmagnetometers die Variationen der magnetischen Intensität?

Antwort. Um mittels des *Gauss*schen Bifilarmagnetometers die Variationen der magnetischen Intensität zu bestimmen, verfährt man im allgemeinen (siehe Erklärung 585) auf folgende Weise:

Man legt in die Hülse *A*, siehe die Figuren 174 und 175, zuerst statt des Magnetstabs *NS* einen demselben an Gewicht gleichen unmagnetischen andern Stab, infolgedessen das Instrument die früher beschriebene Gleichgewichtslage annimmt. Dann wird der Apparat so gestellt, dass die durch die Aufhängefäden *ab* und *cd* gelegt gedachte Vertikalebene senkrecht zum magnetischen Meridian des Ortes zu stehen kommt, was infolge der Einrichtung des Instruments der Fall ist, wenn der unmagnetische Stab durch den Magnetstab *NS* ersetzt wird und sich alsdann die vorherige Stellung des Apparats nicht ändert.

Hierauf wird wieder der unmagnetische Stab in die Hülse *A* geschoben und mittels Schwingungsbeobachtungen die in Antwort der Frage 202 erwähnte Direktionskraft *R* bestimmt. Ist die magnetische Direktionskraft des Magnetstabs, welche ebenfalls vorher bestimmt wird, $= D$, so muss zum weiteren Experimentieren $R > D$ sein.

Dann wird der unmagnetische Stab aus der Hülse *A* herausgenommen und

Erkl. 585. Ausführliches über die Bestimmung der Variationen der magnetischen Intensität findet man in den Resultaten des magnetischen Vereins zu Göttingen, Bd. 2 und Bd. 6.

Erkl. 586. Bei den Beobachtungen mittels des Bifilarmagnetometers dürfen etwaige Korrekturen in betreff der Temperaturveränderung nicht vernachlässigt werden (siehe die Erkl. 572 und 579).

Erkl. 587. Bei jeder Drehung des Bifilarmagnetometers muss die Klemmschraube *h* gelöst und nach der Drehung wieder zugedreht werden.

der Magnetstab einmal so hineingelegt, wie in der Antwort der Frage 202 unter 1)., ein andermal so, wie unter 2). angegeben wurde (in beiden Fällen darf der Apparat keine Aenderung erleiden), und für beide Fälle die Schwingungsdauer bestimmt.

Nach der in der Erkl. 447 aufgestellten Gleichung a).:

$$t = \pi . \sqrt{\frac{K}{D}}$$

in welcher K das Trägheitsmoment, D die betreffende beschleunigende Kraft und t die Schwingungsdauer bedeutet, erhält man für den ersten Fall die Relation:

$$1). \ldots t^2 = \pi^2 . \frac{K}{R+D}$$

und für den zweiten Fall die Relation:

$$2). \ldots t_1{}^2 = \pi^2 . \frac{K}{R-D}$$

aus welchen sich nach der Erkl. 588 für das Verhältnis der beiden Direktionskräfte R und D die Beziehung:

$$3). \ldots R : D = (t_1{}^2 + t^2) : (t_1{}^2 - t^2)$$

ergibt.

Um eine weitere Beziehung zwischen den Kräften R und D zu erhalten, wird nun der in Antwort der Frage 202 unter 3). angegebene Fall benutzt und dementsprechend zuerst der Magnetstab NS mitsamt der ihn tragenden Hülse A so gedreht (siehe Erkl. 587), dass er bei seiner Ruhelage gegen den magnetischen Meridian des Ortes eine senkrechte Lage annimmt. Ist nämlich infolge dieser Drehung der Torsionswinkel der beiden Aufhängedrähte (d. i. hier der Winkel, welchen die Horizontalprojektionen der unteren Verbindungslinie der Befestigungspunkte a und c der Drähte und der Verbindungslinie der oberen Punkte b und d bilden) $= \alpha$, so ist nach der Erkl. 418 das Drehungsmoment, welches die Direktionskraft R auf den Magnetstab NS ausübt $= R . \sin \alpha$.

Dieses Drehungsmoment ist gleich dem Drehungsmoment D, welches die magnetische Direktionskraft D auf den um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian

Erkl. 588. Aus nebenstehenden Gleichungen:

$$1). \ldots t^2 = \pi^2 . \frac{K}{R+D}$$

$$2). \ldots t_1{}^2 = \pi^2 . \frac{K}{R-D}$$

erhält man durch Division der Gleichung 1). in Gleichung 2).:

$$\frac{t_1{}^2}{t^2} = \frac{R+D}{R-D}$$

und hieraus ergibt sich nach einem Summen- oder Differenzensatz aus der Proportionslehre:

$$\frac{t_1{}^2 + t^2}{t_1{}^2 - t^2} = \frac{2R}{2D}$$

oder:

$$R : D = (t_1{}^2 + t^2) : (t_1{}^2 - t^2)$$

Erkl. 589. Sollte das für $R : D$ gefundene Verhältnis bedeutend von der Gleichgewichtslage abweichen, so kann man die Aufhängedrähte ab und cd etwas einander nähern und zwar so, dass jene Abweichung nur eine sehr geringe ist.

abgelenkten Magnetstab NS ausübt, man hat somit die weitere Gleichung:

4). . . . $D = R \, . \, sin \, \alpha$ (siehe Erkl. 427)

bezw. die sich aus den Gleichungen 3). und 4). ergebende Relation:

5). $\frac{D}{R} = sin \, \alpha = (t_1^2 - t^2) : (t_1^2 + t^2)$

Soll diese Gleichgewichtsbedingung in Wirklichkeit erfüllt werden, so muss jene Drehung des Magnetstabs von seiner ursprünglichen Gleichgewichtslage nicht 90^0, sondern $(90 + \alpha)^0$ betragen, wobei zu beachten ist, dass das Drehungsmoment der Direktionskraft, welches den Magnetstab in den magnetischen Meridian zurückzuführen sucht, so lange zunimmt (siehe Erkl. 590), bis der Magnet mit dem magnetischen Meridian einen Winkel von 90^0 bildet und daselbst sein Maximum D erreicht.

Die soeben erwähnte sogen. transversale Lage benutzte nun *Gauss* zur Beobachtung und Bestimmung der Aenderung der magnetischen Intensität, indem sich bei jeder Aenderung derselben die Lage des Magnetstabs NS ändert und zwar so, dass wenn die Intensität stärker oder schwächer wird, der Magnetstab sich dem magnetischen Meridian nähert, bezw. von demselben sich entfernt. Da nämlich die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variiert, so oscilliert der Magnetstab in jener Lage stets so, wie das Unifilarmagnetometer bei den Variationen der magnetischen Deklination und man kann, wenn man den Spiegel P um den Winkel α nach der Seite dreht, nach welcher der Magnetstab gedreht wurde, in demselben mittels des Fernrohrs des entsprechend aufgestellten Theodolits jene Oscillationen aufs schärfste beobachten und jede Aenderung der magnetischen Intensität der an dem Theodolit angebrachten Skala HH_1 (siehe Antwort der Frage 108) ablesen.

Zur Bestimmung der Aenderung der magnetischen Intensität beachte man nunmehr, dass wenn der Ablenkungswinkel des Magnetstabs aus der transversalen Lage infolge einer Aenderung

Erkl. 590. Nimmt ein im zweiten Quadranten liegender (stumpfer) Winkel ab, so wächst sein Sinus bis zu dem Augenblicke, in welchem jener Winkel den Wert von 90^0 erreicht, von da an nimmt bei weiterer Abnahme des Winkels auch der Sinus ab (siehe Kleyers Lehrbuch der Goniometrie).

Erkl. 591. Umstehende Relation:

$$R \, (sin \, \alpha + \delta) - D \, . \, cos \, \delta$$

lässt sich wie folgt reduzieren.

Setzt man nach einem goniometrischen Lehrsatze:

$$sin \, (\alpha + \delta) = sin \, \alpha \, . \, cos \, \delta + cos \, \alpha \, . \, sin \, \delta$$

so erhält man:

$$R \, . \, sin \, (\alpha + \delta) - D \, . \, cos \, \delta = R \, . \, sin \, \alpha \, . \, cos \, \delta + R \, . \, cos \, \alpha \, . \, sin \, \delta - D \, . \, cos \, \delta = (R \, . \, sin \, \alpha - D) \, . \, cos \, \delta + R \, . \, cos \, \alpha \, . \, sin \, \delta$$

oder mit Rücksicht, dass nach der nebenstehenden Gleichung 4). $R \, . \, sin \, \alpha - D = 0$ ist:

$$R \, . \, sin \, (\alpha + \delta) - D \, . \, cos \, \delta = R \, . \, cos \, \alpha \, . \, sin \, \delta$$

der magnetischen Intensität $= \delta$ ist, das Drehungsmoment, welches ihn in die frühere Lage zurückzubringen sucht

$$= R \,.\, sin\,(\alpha + \delta) - D \,.\, cos\,\delta$$

(siehe die Erkl. 497 und 498)

oder:

$$= R \,.\, cos\,\alpha \,.\, sin\,\delta$$

(siehe Erkl. 591)

oder, da die Ablenkung δ nur sehr klein ist, mithin:

$$sin\,\delta = \delta \text{ (siehe Erkl. 420)}$$

gesetzt werden kann,

$$= R \,.\, cos\,\alpha \,.\, \delta \text{ sein muss.}$$

Da ferner die magnetische Direktionskraft $= R \,.\, sin\,\alpha$ ist [siehe Gleichung 4).], so erhält man für das Verhältnis der Aenderung der magnetischen Direktionskraft und der magnetischen Direktionskraft selbst, den Quotienten:

$$\frac{R \,.\, cos\,\alpha \,.\, \delta}{R \,.\, sin\,\alpha} \text{ oder } = \frac{cos\,\alpha \,.\, \delta}{sin\,\alpha} = \delta \,.\, ctg\,\alpha$$

$$= \delta \cdot \frac{2\,t_1 \,.\, t}{t_1^2 - t^2} \text{ (siehe Erkl. 592)}$$

Hiernach kann man, aus den beobachteten Schwingungszeiten t und t_1 und dem beobachteten Ablenkungswinkel δ, das Verhältnis der Aenderung der magnetischen Direktionskraft zu der magnetischen Direktionskraft selbst berechnen, und wenn letztere bekannt ist, erstere bestimmen. Ist aber die magnetische Direktionskraft und deren Aenderung bekannt, so kann man auch nach der Antwort der Frage 191 die Horizontalintensität und deren Aenderung nach absolutem Mass berechnen.

Erkl. 592. Nach einer goniometrischen Formel ist:

$$ctg\,\alpha = \frac{\sqrt{1 - sin^2\alpha}}{sin\,\alpha}$$

Setzt man in derselben für $sin\,\alpha$ den sich aus umstehender Gleichung 5). ergebenden Wert:

$$\frac{t_1^2 - t^2}{t_1^2 + t^2}$$

so erhält man:

$$tg\,\alpha = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{t_1^2 - t^2}{t_1^2 + t^2}\right)^2}}{\frac{t_1^2 - t^2}{t_1^2 + t^2}}$$

oder:

$$tg\,\alpha = \frac{(t_1^2 + t^2) \,.\, \sqrt{(t_1^2 + t^2)^2 - (t_1^2 - t^2)^2}}{(t_1^2 - t^2)\,(t_1^2 + t^2)}$$

$$tg\,\alpha = \frac{\sqrt{(t_1^2 + t^2 + t_1^2 - t^2) \,.\, (t_1^2 + t^2 - t_1^2 + t^2)}}{t_1^2 - t^2}$$

$$tg\,\alpha = \frac{\sqrt{2t_1^2 \,.\, 2t^2}}{t_1^2 - t^2} = \frac{\sqrt{4t_1^2 \,.\, t^2}}{t_1^2 - t^2}$$

mithin:

$$tg\,\alpha = \frac{2 \,.\, t_1 \,.\, t}{t_1^2 - t^2}$$

Anhang.

A). Gelöste Aufgaben.

1). Aufgaben über die Tragkraft der Magnete.

(Häckers Formel.)

Anmerkung. In betreff der vor den Lösungen stehenden Formeln siehe das am Schlusse dieses Buchs beigefügte Formelnverzeichnis und beachte die dortigen Hinweise.

Aufgabe 1. Wie gross ist die Tragkraft eines *Häcker*schen Hufeisenmagnets, welches $^3/_4$ kg wiegt?

Formel 1 $S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$

Auflösung. Setzt man nach der Erkl. 593 in der vorstehenden *Häcker*schen Formel:

$$S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$$

$$S = x$$

$$a = 10{,}33$$

$$P = \frac{3}{4}$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

$$1). \quad . \;.\; . \quad x = 10{,}33 \,.\, \sqrt[3]{\left(\frac{3}{4}\right)^2}$$

Hieraus findet man x wie folgt:

$$log\, x = log\, 10{,}33 + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot (log\, 3 - log\, 4)$$

Nun ist: (s. Erkl. 594)

$$\begin{array}{rrl} & (+1) & (-1) \\ log\, 3 = & 0{,}4771213 & \\ -log\, 4 = & -0{,}6020600 & \\ \hline & 0{,}8750613 & -1 \\ & & .\,2 \\ \hline (+1) & 1{,}7501226 & -2\;(-1) \\ & & \cdot\frac{1}{3} \\ \hline & 0{,}9167075 & -1 \\ +log\, 10{,}33 = & 1{,}0141003 & \\ \hline log\, x = & 1{,}9308078 & -1 \\ \text{oder: } log\, x = & 0{,}9308078 & \\ & 8064 & \end{array}$$

mithin:

$$x = 8{,}5272$$

Die gesuchte Tragkraft des Hufeisenmagnets ist somit $= 8^1/_2$ kg.

Erkl. 593. Nach der in Antwort der Frage 148 aufgestellten *Häcker*schen Formel 1 besteht zwischen der in kg ausgedrückten und nach öfterem Abreissen des Ankers zurückbleibenden, konstanten Tragkraft S, dem in kg ausgedrückten Gewicht eines Hufeisenmagnets und der konstanten Grösse a ($= 10{,}33$ für einen möglichst stark magnetisierten Hufeisenmagnet) die Beziehung:

$$S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$$

Erkl. 594. In betreff der Rechnung mit Logarithmen findet man ausführliches in Kleyers Lehrbuch der Logarithmen.

Aufgabe 2. Welches muss das Gewicht eines Hufeisenmagnets sein, damit nach möglichst kräftiger Magnetisierung die nach mehr-

Formel 1 $S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$

maligem Losreissen des Ankers zurückbleibende konstante Tragkraft desselben = 30 kg beträgt?

Hülfsrechnung:

$$log\, x = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot (log\, 30 - log\, 10{,}33)$$

Nun ist:

$$\begin{array}{rr} log\, 30 = & 1{,}4771213 \\ -log\, 10{,}33 = & -1{,}0141003 \\ \hline & 0{,}4630210 \\ & .\,3 \\ \hline & 1{,}3890630 \\ & \cdot\frac{1}{2} \\ \hline log\, x = & 0{,}6945315 \\ & 5350 \end{array}$$

mithin:

$$numlog\, x = 4{,}9492$$

Auflösung. Setzt man in der vorstehenden *Häcker*schen Formel:

$$S = 30$$
$$a = 10{,}33 \text{ (siehe Erkl. 593)}$$
$$\text{und } P = x$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

$$1) \ldots\ldots 30 = 10{,}33 \,.\, \sqrt[3]{x^2}$$

Diese Gleichung nach x aufgelöst, gibt der Reihe nach:

$$\sqrt[3]{x^2} = \frac{30}{10{,}33}$$

$$x^2 = \left(\frac{30}{10{,}33}\right)^3$$

oder:

$$2) \ldots\ldots x = \sqrt{\left(\frac{30}{10{,}33}\right)^3}$$

Diese Gleichung logarithmiert, gibt:

$$log\, x = \frac{1}{2} \cdot 3 \,.\, (log\, 30 - log\, 10{,}33)$$

und hieraus erhält man nach nebenstehender Hülfsrechnung: $x = 4{,}95$.

Das Gewicht des Hufeisenmagnets muss somit = 4,95 kg sein.

Aufgabe 3. Welches Gewicht muss ein Hufeisenmagnet besitzen, damit er bei vollständiger Sättigung das doppelte seines Eigengewichts tragen kann?

Formel 1 $S = a \,.\, \sqrt[3]{P^2}$

Auflösung. Setzt man in der vorstehenden *Häcker*schen Formel:

$$P = x$$
$$a = 10{,}33 \text{ (siehe Erkl. 593)}$$
$$\text{und } S = 2 \,.\, P = 2 \,.\, x$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

$$1) \ldots\ldots 3\,x = 10{,}33 \,.\, \sqrt[3]{x^2}$$

Diese Gleichung nach x aufgelöst, gibt der Reihe nach:

$$2\,x = 10{,}33 \,.\, x^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{x}{x^{\frac{2}{3}}} = \frac{10{,}33}{2}$$

$$x^{1-\frac{2}{3}} = 5{,}165$$

$$x^{\frac{3-2}{3}} = 5{,}165$$

$$x^{\frac{1}{3}} = 5{,}165$$

$$x = 5{,}165^3$$

und nach nebenstehender Hülfsrechnung:

$$x = 137{,}79$$

Der gesuchte Hufeisenmagnet muss somit ein Gewicht von 137,8 kg haben.

Hülfsrechnung:

$$log\, x = 3 \,.\, log\, 5{,}165$$

Nun ist:

$$\begin{array}{rr} log\, 5{,}165 = & 0{,}7130703 \\ & .\,3 \\ \hline log\, x = & 2{,}1392109 \\ & 2177 \end{array}$$

mithin:

$$x = 137{,}79$$

Aufgabe 4. Ein aus einer schlechten Stahlsorte angefertigter, $1^1/_2$ kg schwerer Hufeisenmagnet, welcher durch Anlassen von seiner Härte bedeutend verloren hatte, trägt nur 5 kg. Wenn nun zwischen dem Gewicht und der Tragkraft desselben die durch die *Häcker*sche Formel ausgedrückte Beziehung besteht, wie gross ist demnach der konstante Faktor a für jene Stahlsorte?

Formel 1: $S = a . \sqrt[3]{P^2}$

Auflösung. Setzt man in der vorstehenden *Häcker*schen Formel:

$$S = 5$$
$$a = x$$
$$P = 1\frac{1}{2} = 1{,}5$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

$$1). \ \ldots \ 5 = x . \sqrt[3]{1{,}5^2}$$

Diese Gleichung nach x aufgelöst, gibt:

$$2). \ \ldots \ x = \frac{5}{\sqrt[3]{1{,}5^2}}$$

Logarithmiert man diese Gleichung, so erhält man:

$$\log x = \log 5 - \frac{2}{3} \cdot \log 1{,}5$$

Nun ist:

$$\log 5 = 0{,}6989700$$
$$-\frac{2}{3} \cdot \log 1{,}5 = -0{,}1173942 \quad \text{(siehe Hülfsrechn.)}$$
$$\log x = 0{,}5815758$$

mithin: 5742

$$\text{numlog}\, x = 3{,}8157$$

Der konstante Faktor a ist für jene schlechte Stahlsorte somit $= 3{,}82$.

Hülfsrechnung:

$$\frac{2}{3} \cdot \log 1{,}5 = \frac{2}{3} \cdot 0{,}1760913$$
$$= \frac{1}{3} \cdot 0{,}3521826$$
$$= 0{,}1173942$$

Aufgabe 5. Welche Tragkraft hat nach der *Häcker*schen Formel ein von *van Wetteren* in Harlem (siehe Erkl. 390) hergestellter 3 kg schwerer Hufeisenmagnet, wenn man weiss, dass der konstante Faktor a für einen solchen ausgezeichneten Magnet $= 21$ ist?

Formel 1: $S = a . \sqrt[3]{P^2}$

Auflösung. Setzt man in vorstehender Formel:

$$S = x$$
$$a = 21$$
$$P = 3$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

$$1). \ \ldots \ x = 21 . \sqrt[3]{3^2}$$

Hieraus findet man x wie folgt:

$$x = 21 . \sqrt[3]{9} = 21 . 2{,}080$$

oder: $x = 43{,}68$

Der in Rede stehende Magnet hat somit eine Tragkraft von 43,68 kg.

Aufgabe 6. Wie gross ist die Tragkraft des einen Pols eines *Häcker*schen Stabmagnets, welcher $^3/_4$ kg wiegt?

Formel 1: $S = a . \sqrt[3]{P^2}$

Auflösung. Setzt man in vorstehender Formel:

$$\left.\begin{array}{l} S = 2x \\ a = 9{,}89 \end{array}\right\} \text{(siehe Erkl. 595)}$$
$$P = \frac{3}{4} = 0{,}75$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

Erkl. 595. Die Tragkraft eines Stabmagnets kann man annähernd auch mittels der *Häcker*schen Formel:

$$S = a \cdot \sqrt[3]{P^2}$$

bestimmen.

In dieser Formel stellt alsdann S die doppelte Tragkraft eines Pols des betreffenden Stabmagnets dar.

Häcker fand, dass für die von ihm benutzten Stabmagnete $a = 9{,}89$ kg betrug (siehe Antwort der Frage 148).

1). . $2x = 9{,}89 \cdot \sqrt[3]{0{,}75^2}$

Hieraus findet man x wie folgt:

$$x = \frac{9{,}89}{2} \cdot \sqrt[3]{0{,}75^2} = 4{,}945 \cdot \sqrt[3]{0{,}75^2}$$

$$log\, x = log\, 4{,}945 + \frac{2}{3} \cdot log\, 0{,}75$$

Nun ist:

$$\begin{aligned} log\, 0{,}75 &= 0{,}8750613 - 1 \\ &\quad . 2 \\ &\quad 1{,}7501226 - 2 \\ \text{oder: } &\quad 2{,}7501226 - 3 \\ &\quad . \tfrac{1}{3} \\ &\quad 0{,}9167075 - 1 \\ + log\, 4{,}945 &= 0{,}6941663 \\ log\, x &= 1{,}6108738 - 1 \\ \text{oder: } log\, x &= 0{,}6108738 \end{aligned}$$

mithin: 8730

$$numlog\, x = 4{,}0820$$

Ein Pol des betreffenden Stabmagnets trägt hiernach 4,1 kg.

2). Aufgaben über das absolute Masssystem.

Aufgabe 7. Wenn eine Kraft einer Masse von 10 mg die Beschleunigung von 80 mm pro Sekunde erteilt, welches ist jene Kraft in absolute Krafteinheiten ausgedrückt?

Erkl. 596. Unter der absoluten Krafteinheit versteht man diejenige Kraft, welche am Hebelarm 1 mm wirkend gedacht, der Masseneinheit (1 mg, d. i. die Masse von 1 cbmm bei 4° Celsius) die Beschleunigungseinheit (= 1 mm) pro Sekunde erteilt (siehe die Erkl. 507).

Bezeichnet man hiernach die in absolute Krafteinheiten ausgedrückte Kraft, welche auf einen Körper beschleunigend wirkt, mit P, die in mg ausgedrückte Masse des Körpers mit m und die in mm ausgedrückte Beschleunigung, welche der ganzen Masse pro Sekunde erteilt wird, mit g, so besteht zwischen diesen drei Grössen die Relation:

1). $P = m \cdot g$

Auflösung. Nach der Erkl. 596 versteht man unter der absoluten Krafteinheit die Kraft, welche der Masse von 1 mg pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm erteilt.

Erteilt eine Kraft einer Masse von 1 mg pro Sekunde die Beschleunigung von 80 mm, so ist hiernach diese Kraft = 80 . 1 jener absoluten Krafteinheiten. Erteilt ferner eine Kraft einer aus 10 mg bestehenden Masse pro Sekunde die Beschleunigung von 80 mm, so ist diese Kraft = 80 . 10 oder = 800 absolute Krafteinheiten.

Dasselbe Resultat erhält man, wenn man in der in nebenstehender Erkl. 596 aufgestellten Gleichung:

1). $P = m \cdot g$

für $P = x$
„ $m = 10$ und
„ $g = 80$ setzt.

Aufgabe 8. Welche Beschleunigung erteilt eine Kraft von 100 absoluten Krafteinheiten einer Masse von 4 mg?

Auflösung. Zwischen der in absolute Krafteinheiten ausgedrückten Kraft P, der in die Masseneinheit (1 mg) ausgedrückten Masse m und der in die Längeneinheit (mm) ausgedrückten Beschleunigung g, welche der Masse m durch die Kraft P pro Sekunde erteilt wird, besteht nach der Erkl. 596 die Relation:

1). $P = m \cdot g$

Setzt man in derselben:

$$P = 100$$
$$m = 4 \text{ und}$$
$$g = x$$

so erhält man:

$$100 = 4 \,.\, x$$

oder:

$$x = \frac{100}{4} = 25$$

d. h. eine Kraft von 100 absoluten Krafteinheiten erteilt einer Masse von 4 mg pro Sekunde die Beschleunigung von 25 mm.

Aufgabe 9. Eine beschleunigende Kraft von 50 absoluten Krafteinheiten wirkt auf eine Masse von 10 mg. Welchen Weg legt diese Masse unter Einwirkung jener Kraft in 4 Sekunden zurück?

Auflösung. Zur Bestimmung des gesuchten Wegs x, welchen die Masse von 10 mg in 4 Sekunden unter dem Einfluss der beschleunigenden Kraft von 50 absoluten Krafteinheiten macht, hat man nach der Erkl. 597, wenn man die noch unbekannte Beschleunigung, welche die Kraft jener Masse in der 1. Sekunde erteilt, mit y bezeichnet, die Relation:

1). $x = \frac{1}{2} \cdot y \,.\, 4^2$

Zur Bestimmung der noch unbekannten Beschleunigung y hat man ferner nach der in der Erkl. 596 aufgestellten Relation die weitere Gleichung:

2). $50 = 10 \,.\, y$

Aus Gleichung 2). erhält man:

3). $x = \frac{50}{10} = 5$

und diesen Wert für y in Gleichung 1). substituiert, gibt:

$$x = \frac{1}{2} \cdot 5 \,.\, 4^2 = \frac{16}{2} \cdot 5 = 8 \,.\, 5 = 40$$

Der gesuchte Weg ist hiernach = 40 mm.

Erkl. 597. Aus der Mechanik (siehe Kleyers Lehrbuch der Mechanik) ist bekannt, dass zwischen dem Weg s eines Körpers, welcher eine gleichförmig beschleunigte (verzögerte) Bewegung während der Zeit von t Sekunden macht, und der Beschleunigung g, welche diesem Körper erteilt wurde, die Relation:

1). $s = \frac{1}{2} \cdot g t^2$

besteht.

3). Aufgaben über die Coulombsche Drehwage.

Aufgabe 10. An dem Aufhängedraht einer *Coulomb*schen Drehwage hängt ein Körper, dessen Trägheitsmoment $= 20 \,.\, 10^6$ ist; welches ist die Wirkung der Torsionskraft, die hervorgerufen wird, wenn der Aufhängefaden um 1^0 tordiert wird und die hierbei beobachtete Schwingungsdauer des Körpers 5 Sekunden beträgt?

Auflösung. Ist der Radius des Querschnitts des Aufhängedrahts einer *Coulomb*schen Drehwage = 1 mm, und wird der Aufhängedraht, an welchem ein unmagnetischer Körper aufgehängt ist, dessen Trägheitsmoment $= 20 \,.\, 10^6$ mg beträgt, um einen Bogen tordiert, dessen Länge = 1 mm beträgt, so hat man für die Torsionskraft T, welche hierdurch hervorgerufen wird und den Draht in seine ursprüngliche Lage zurückzudrehen strebt, in absolute Kraftein-

Erkl. 598. Bezeichnet man:

a). das in mg ausgedrückte Trägheitsmoment eines an einem Draht hängenden unmagnetischen Körpers mit K, siehe Antwort der Frage 182;

b). die nach der Erkl. 596 in absolute Krafteinheiten ausgedrückte Torsions-

kraft, welche hervorgerufen wird, wenn der Aufhängedraht um die Bogenlänge von 1 mm tordiert wird, und welche bestrebt ist, den Draht in seine ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückzuführen, dabei an dem Hebelarm 1 mm (d. i. der Radius des Querschnitts des Drahts) wirkend zu denken ist, mit T;

c). die in Sekunden ausgedrückte Schwingungsdauer des aufgehängten Körpers mit t,

so besteht nach den Gesetzen der Mechanik zwischen diesen Grössen die Beziehung:

1). $t = \pi . \sqrt{\frac{K}{T}}$

in welcher π die irrationale Zahl: 3,1415 . . . bedeutet (siehe Kleyers Lehrb. der Mechanik).

Aus dieser Gleichung 1). erhält man für T:

2). $T = K . \frac{\pi^2}{t^2}$

Erkl. 599. Nach dem in Antwort der Frage 157 angeführten Torsionsgesetz:

„Die Torsionskraft eines und desselben metallenen Aufhängedrahts ist proportional dem Drehungs- oder Torsionswinkel“

besteht zwischen der Torsionskraft T (siehe Erkl. 598) des um $\frac{360^0}{2\pi}$ tordierten Aufhängedrahts (siehe Erkl. 600) und der Torsionskraft T_1 des um 1^0 tordierten Aufhängedrahts die Beziehung:

1). $T : T_1 = \frac{360^0}{2\pi} : 1^0$

und hieraus erhält man für die Torsionskraft T_1 des um 1^0 tordierten Aufhängedrahts:

2). $T_1 = \frac{2\pi}{360} \cdot T$

oder nach der nachstehenden Hülfsrechnung, da $\frac{2\pi}{360}$ ein konstanter Faktor ist:

3). $T_1 = 0{,}0174533 . T$ oder $= \frac{1}{57{,}296} \cdot T$

Erkl. 600. Ein planimetrischer Lehrsatz heisst:

„Der Umfang $(2r . \pi)$ eines Kreises, dessen Radius $= r$ ist, verhält sich zu einem in Längeneinheiten des Radius r ausgedrückten Bogen (*bog*) dieses Kreises wie der Centriwinkel (360^0), welcher zum ganzen Umfang gehörig gedacht wird, zu dem zu letzterem Bogen gehörigen Centriwinkel α,“ in Zeichen:

1). $2r\pi : bog\,\alpha = 360^0 : \alpha^0$

Ist der Radius eines Kreises = Eins (1 mm), ein Bogen desselben = Eins (1 mm), so besteht hiernach zur Berechnung des zu jenem Bogen gehörigen Centriwinkels x die Gleichung:

$$2\pi : 1 = 360 : x$$

und hieraus erhält man:

$$x = \frac{360}{2\pi}$$

heiten ausgedrückt nach der Erkl. 598 die Beziehung:

1). . . . $T = 20 . 10^6 \cdot \frac{\pi^2}{t^2}$

in welcher t die zu beobachtende Schwingungsdauer des Körpers bedeutet.

Wird ferner jener Draht um 1^0 tordiert und z. B. eine Schwingungsdauer $t = 5''$ beobachtet, so ist die gesuchte Torsionskraft x nach der in der Erkl. 599 aufgestellten Gleichung 2).:

2). . . . $x = \frac{2\pi}{360} \cdot T$

Aus den Gleichungen 1). und 2). erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

3). . . . $x = \frac{2\pi}{360} \cdot 20 . 10^6 \cdot \frac{\pi^2}{5^2}$

Hieraus ergibt sich in Rücksicht der in der Erkl. 599 aufgestellten Gleichung 3).:

$$x = 0{,}0174533 \cdot \frac{20000000 . \pi^2}{25} =$$

$$0{,}0174533 . 800000 . \pi^2$$

$$x = 13962{,}64 . 9{,}870$$

Die gesuchte Torsionskraft ist hiernach = 1378112 absolute Krafteinheiten.

Wird also der Aufhängedraht der *Coulomb*schen Drehwage, dessen Radius = 1 mm ist, um einen Bogen tordiert, welcher = 1 mm ist, so erhält man für den Torsionswinkel:

$$= \frac{360}{2\pi}$$

Erkl. 601. Die in dieser Aufgabe berechnete Torsionskraft T ist nach der Erkl. 419 der sogen. Torsionskoeffizient des betreff. Drahts.

Hülfsrechnung:

$$log\frac{2\pi}{360} = log\,2 + log\,\pi - log\,360$$

Nun ist: $log\,2 = 0{,}3010300$

$+ log\,3{,}1415 = 0{,}4971499$

$(+2)\,0{,}7981799\,(-2)$

$- log\,360 = -2{,}5563025$

$log\frac{2\pi}{360} = 0{,}2418774-2$

8701

73

74,7

mithin:

a). $\frac{2\pi}{360} = 0{,}0174533$

oder auch:

b). $\frac{2\pi}{360} = \frac{174533}{10000000} = \frac{1}{57{,}296}$

Aufgabe 11. An dem Aufhängedraht einer *Coulomb*schen Drehwage sei ein Magnet so aufgehängt, dass er sich bei untordiertem Aufhängedraht im magnetischen Meridian befindet, und ferner sei dieser Magnet infolge einer Torsion des Aufhängedrahts von $3 . 360^0$ um einen Winkel von 33^0 auf seinem magnetischen Meridian abgelenkt. Auf welche Weise kann man aus diesen Angaben das Drehungsmoment berechnen, welches die erdmagnetische Kraft dem Magnetstab in der um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Lage erteilt, wenn der Torsionskoeffizient des betreffenden Drahts = T ist und die halbe Länge des Stabs = Eins gesetzt wird?

Erkl. 602. Wird eine *Coulomb*sche Drehwage so hergerichtet, dass sich der an dem Aufhängedraht hängende Magnet bei untordiertem Draht im magnetischen Meridian befindet und wird alsdann der Aufhängedraht allgemein um δ^0 tordiert und die hierdurch hervorgerufene Ablenkung mit α^0 bezeichnet, so besteht nach der in Antwort der Frage 165 aufgestellten Formel 10 zwischen dem Drehungsmoment D, welches die erdmagnetische Kraft einem um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab erteilt, dem Ablenkungswinkel α, der Torsion δ und dem Tor-

Formel 10: $D = T\cdot\frac{\delta - \alpha}{sin\,\alpha}$

Auflösung. Setzt man in vorstehender Formel (siehe Erkl. 602):

$$\delta = 3 . 360^0 = 1080^0$$
$$\alpha = 33^0$$

also: $\delta - \alpha = 1080^0 - 33^0 = 1047^0$

und: $sin\,\alpha = sin\,33^0 = 0{,}54464$ (siehe Erkl. 603)

so erhält man für die gesuchte Direktionskraft x die Bestimmungsgleichung:

1). . . . $x = T\cdot\frac{1047}{0{,}54464}$

woraus sich für das gesuchte Drehungsmoment x:

$$x = 1922{,}3 . T$$

oder:

2). . . . $x = 1922 . T$

ergibt.

sionskoeffizienten T (siehe die Erkl. 419 u. 441) die Beziehung:

$$1). \quad D = T \cdot \frac{\delta - \alpha}{\sin \alpha}$$

Erkl. 603. Den Wert einer goniometrischen Funktion eines bestimmten Winkels (z. B. von 33^0) kann man aus einer Tafel entnehmen, welche die natürlichen Werte der goniometrischen Funktionen enthält (siehe Kleyers Logarithmentafeln), oder man kann denselben mittels einer log.-trig. Tafel berechnen.

4). Aufgaben über die Schwingungen eines Magnetstabs.

Aufgabe 12. Die Amplitude (d. i. der ganze Schwingungsbogen) eines horizontal schwingenden Magnetstabs sei 5^0, die beobachtete Schwingungsdauer eines solchen Magnetstabs sei = 10 Sekunden. Wieviel Sekunden beträgt die auf isochrone (d. s. unendlich kleine) Schwingungsbogen reduzierte Schwingungsdauer?

Erkl. 604. Zwischen der Schwingungsdauer t (d. i. die Zeit, welche ein Pendel braucht, um eine Oscillation, Schwingung zu machen), der Länge l und dem Elongationswinkel β (siehe Erkl. 453) eines mathematischen Pendels findet die Beziehung statt:

$$1). \quad t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 . \sin^2 \frac{\beta}{2} + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 . \sin^4 \frac{\beta}{2} + \left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\right)^3 . \sin^6 \frac{\beta}{2} + \ldots\right)$$

Zwischen dieser Schwingungsdauer t, der auf unendlich kleine, sogen. isochrone Schwingungen reduzierten Schwingungsdauer t_1 und dem doppelten Elongationswinkel, also dem ganzen Schwingungsbogen α findet ferner die Beziehung statt:

$$2). \quad t_1 = t - t\left(\frac{1}{4} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{4} + \frac{9}{64} \cdot \sin^4 \frac{\alpha}{4} + \ldots\right)$$

aus welcher man durch Vernachlässigung der sehr kleinen Glieder der in der Klammer stehenden unendlichen Reihe, unter der Voraussetzung, dass die Elongationswinkel α entsprechend klein sind, die einfachere Beziehung:

$$3). \quad t_1 = t\left(1 - \frac{1}{16}\alpha^2\right)$$

ableiten kann (siehe die Formel 31 in der Erklärung 573).

Ueber die Herleitung dieser Formeln findet man ausführliches in Kleyers Lehrbuch der Mechanik.

Erkl. 605. Für einen Kreis, dessen Radius = 1 ist, findet man die Länge eines Bogens

Auflösung. Zur Bestimmung der auf isochrone Schwingungen reduzierten Schwingungsdauer benutze man, da die Amplitude (der ganze Schwingungsbogen) = 5^0 beträgt und somit ein kleiner Winkel ist, die in der Erklärung 604 aufgestellte Gleichung 3).:

$$1). \quad t_1 = t\left(1 - \frac{1}{16}\alpha^2\right)$$

Setzt man in derselben:

$$t = 10$$

$$\alpha = arc\, \alpha^0 = arc\, 5^0 = 0{,}087266$$

(siehe Erkl. 605)

so erhält man für die gesuchte reduzierte Schwingungsdauer x:

$$2). \quad x = 10\left(1 - \frac{1}{16} \cdot 0{,}087266^2\right)$$

oder:

$$x = 10\left(1 - \frac{0{,}0076038}{16}\right) = 10 \cdot \frac{16 - 0{,}0076038}{16}$$

$$x = \frac{10 \,.\, 15{,}9923962}{16} = 9{,}999$$

Die gesuchte reduzierte Schwingungsdauer ist somit = 9,999 Sekunden.

(*arcus*), welcher zu dem Centriwinkel α^0 gehört, mittels der Proportion:

$$2\pi : arc\,\alpha = 360^0 : \alpha^0$$

(siehe Kleyers Lehrbuch der Planimetrie).

Hieraus ergibt sich:

$$1). \quad . \quad . \quad . \quad arc\,\alpha = 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

Für $arc\,5^0$ erhält man hiernach:

$$arc\,5^0 = 2 \,.\, 3{,}1415 \cdot \frac{5}{360} = 0{,}087266$$

Aus der in den Kleyerschen Logarithmentafeln enthaltenen Tabelle 1, Seite 134, kann man die Längen solcher Kreisbögen direkt entnehmen.

Aufgabe 13. Wie gross ist der siebente Schwingungsbogen einer gewöhnlichen Deklinationsnadel, wenn der erste Schwingungsbogen = 5^0 beträgt?

Erkl. 606. Bezeichnet man mit b den ersten Schwingungsbogen, welchen ein schwingender Körper (ein Pendel oder eine Magnetnadel) macht, mit b_n den n^{ten} Schwingungsbogen und mit k eine konstante (positive) Zahl, welche von der Beschaffenheit der Luft und von der Beschaffenheit des schwingenden Körpers abhängt, so besteht zwischen diesen Grössen die Relation:

$$1). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad b_n = \frac{b}{k^{n-1}}$$

Erkl. 607. Der konstante Wert k, welcher in der in der Erkl. 606 aufgestellten Relation vorkommt, ist für Magnetnadeln von gewöhnlichen Dimensionen und bei gewöhnlicher Luft ungefähr = 1,013.

Hülfsrechnung:

$$log\,1{,}013^6 = 6 \,.\, log\,1{,}013$$

Nun ist: $log\,1{,}013 = 0{,}0056094$

$. 6$

$log\,1{,}013^6 = 0{,}0336564$

6248

mithin: 316

$numlog\,1{,}013^6 = 1{,}08058$ 321,6

Auflösung. Nach der in der Erkl. 606 aufgestellten Formel besteht zwischen der in Sekunden ausgedrückten und gesuchten Grösse des siebenten Schwingungsbogens x, dem ersten Schwingungsbogen von 5^0 und der konstanten Grösse $k = 1{,}013$ (s. Erkl. 607) die Gleichung:

$$1). \quad . \quad . \quad . \quad x = \frac{5 \,.\, 60 \,.\, 60}{1{,}013^{7-1}}$$

Hieraus erhält man:

$$x = \frac{18000}{1{,}013^6} = \frac{18000}{1{,}08058} \text{ (siehe nebenstehende Hülfsrechn.)}$$

$$x = \frac{1800000000}{108058} = 16658$$

Der siebente Schwingungsbogen ist hiernach:

= 16658 Sekunden

oder: $= 4^0\ 37'\ 38''$.

5). Aufgaben über die Fernewirkung einfach magnetischer Massen und vollständiger Magnete aufeinander.

Aufgabe 14. Dem Südpol einer Deklinationsnadel, welche pro Minute 20 Schwingungen macht, wird der Nordpol eines langen Magnetstabs so genähert, dass sich die Axe desselben stets im magnetischen Meridian befindet. Die Deklinationsnadel macht infolge der Annäherung des Magnets, wenn

Auflösung. Da der in der Aufgabe erwähnte Magnetstab ein langer Magnetstab ist, so kann man die Wirkung des von der Deklinationsnadel entfernteren Südpols desselben vernachlässigen (siehe Antwort der Frage 173) und nur die Wirkung des Nordpols dieses Mag-

die Entfernung jener Pole = 6,6 cm ist, 55 Schwingungen, und wenn diese Entfernung = 2 . 6,6 cm beträgt, 32,5 Schwingungen pro Minute. In welchem Verhältnis stehen hiernach die Intensitäten der Kräfte, mit welchen der Magnetstab aus den gegebenen Entfernungen auf jene Nadel wirkt?

Erkl. 608. Aus nebenstehenden Proportionen:

1). . . $D:(D+R) = 20^2:55^2$

2). . . $D:(D+R_1) = 20^2:32,5^2$

erhält man das gesuchte Verhältnis $R:R_1$ wie folgt:

Aus 1). erhält man nach einem Differenzensatz aus der Proportionslehre:

$$\frac{D-D-R}{D} = \frac{20^2-55^2}{20^2}$$

oder:

3). . . $\frac{R}{D} = \frac{55^2-20^2}{20^2}$

Aus 2). erhält man ebenso:

$$\frac{D-D-R_1}{D} = \frac{20^2-32,5^2}{20^2}$$

oder:

4). . . $\frac{R_1}{D} = \frac{32,5^2-20^2}{20^2}$

Aus den Gleichungen 3). und 4). ergibt sich durch Division:

5). . . $\frac{R}{R_1} = \frac{55^2-20^2}{32,5^2-20^2}$

Hieraus erhält man:

$R:R_1 = 2625:656,25$ oder $= 4:1$

netstabs auf die Nadel in Betracht ziehen. Zur Berechnung des gesuchten Verhältnisses, welches die beschleunigende Kraft des Nordpols des Magnetstabs auf die Magnetnadel ausübt, hat man nach der Erkl. 342 den Satz, dass die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen direkt proportional sind (siehe auch Antwort der Frage 173).

Bezeichnet man die beschleunigende Kraft, mit welcher nur der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt, mit D, die beschleunigende Kraft, mit welcher der Nordpol des Magnetstabs auf die Nadel wirkt, und zwar für den Fall, dass sich derselbe in der Entfernung von 6,6 cm befindet, mit R, und wenn sich derselbe in doppelter Entfernung von 6,6 cm befindet, mit R_1, so hat man hiernach die Relationen:

1). . . $D:(D+R) = 20^2:55^2$

2). . . $D:(D+R_1) = 20^2:32,5^2$

Aus diesen Proportionen erhält man nach der Erkl. 608 für das gesuchte Verhältnis $R:R_1$:

$$R:R_1 = 4:1$$

d. h. das Verhältnis der Intensitäten R und R_1 der Anziehung der entgegengesetzten Magnetismen ist umgekehrt proportional dem Quadrat ihrer Entfernungen; denn das Verhältnis der Entfernungen, aus welcher die Anziehung erfolgt, ist der Aufgabe gemäss $= 1:2$. [Vergleiche das in Antwort der Frage 172 aufgestellte Gesetz 1).]

Aufgabe 15. Auf eine im Raume befindliche punktförmige Masse von 100 mg, welche 8000 Einheiten freien Südmagnetismus (negatives magnetisches Fluidum) enthält, wirkt plötzlich aus der Entfernung von 40 mm eine aus 1000 Einheiten bestehende Menge freien Nordmagnetismus (positives magnetisches Fluidum). Welche Beschleunigung wird im ersten Augenblick jener in Ruhe befindlichen Masse infolge der Einwirkung dieser entgegengesetzten Magnetismen aufeinander erteilt?

Erkl. 609. Nach dem in Antwort der Frage 172 aufgestellten Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung entgegengesetzter, bezw. gleichnamiger Magnetismen hat man, wenn m und m_1 die aufeinander wirkenden Mengen freien Magnetismus (magnetischen Fluidums), r die Entfernung derselben und p die hervorgerufene Anziehung, bezw. Abstossung bezeichnet, die folgenden Relationen, und zwar für eine gegenseitige Anziehung entgegengesetzter magnetischer Fluida:

1). $p = \frac{m \cdot m_1}{r^2}$

Auflösung. Da die aufeinander wirkenden magnetischen Kräfte entgegengesetzte Magnetismen (positives und negatives magnetisches Fluidum) sind, so bringen sie in ihrer Wirkung aufeinander eine Anziehung, d. h. eine positive Beschleunigung hervor. Da man ferner bei dem absoluten Masssystem unter der gesuchten Beschleunigung x die Beschleunigung versteht, welche der Masseneinheit, nämlich dem mg erteilt wird, so ergibt sich in Rücksicht, dass, wenn die aus 100 mg bestehende Masse 8000 Einheiten magnetischen Fluidums enthält, die Masseneinheit von 1 mg $= \frac{8000}{100}$ Einheiten magnetischen Fluidums enthalten muss. Mit Benutzung der in der Erklärung 609 aufgestellten Gleichung 1). erhält man somit für x die Bestimmungsgleichung:

1). $x = \frac{\frac{8000}{100} \cdot 1000}{40^2}$

und für die gegenseitige Abstossung gleichnamiger Fluida:

2). $p = -\frac{m \cdot m_1}{r^2}$ (siehe Erkl. 470)

Hieraus erhält man für die gesuchte positive Beschleunigung:

$$x = \frac{80 \cdot 1000}{40 \cdot 40} = \frac{2 \cdot 100}{4} = 2 \cdot 25 = 50 \text{mm}$$

Aufgabe 16. Auf eine im Raume befindliche punktförmige Masse von 100 mg, welche 8000 Einheiten freien Südmagnetismus (negatives magnetisches Fluidum) enthält, wirkt plötzlich aus der Entfernung von 30 mm eine aus 1200 Einheiten bestehende Menge freien Süd magnetismus (negatives magnetisches Fluidum). Welche Beschleunigung wird im ersten Augenblick jener in Ruhe befindlichen Masse infolge der Einwirkung dieser gleichnamigen Magnetismen aufeinander erteilt?

Auflösung. Da die aufeinander wirkenden magnetischen Kräfte gleichnamige Magnetismen (beide negative Fluida) sind, so bringen sie in ihrer Wirkung aufeinander eine Abstossung, d. h. eine negative Beschleunigung hervor.

Analog wie in der vorhergehenden Aufgabe erhält man für die gesuchte Beschleunigung x nach der in der Erkl. 609 aufgestellten Gleichung 2).:

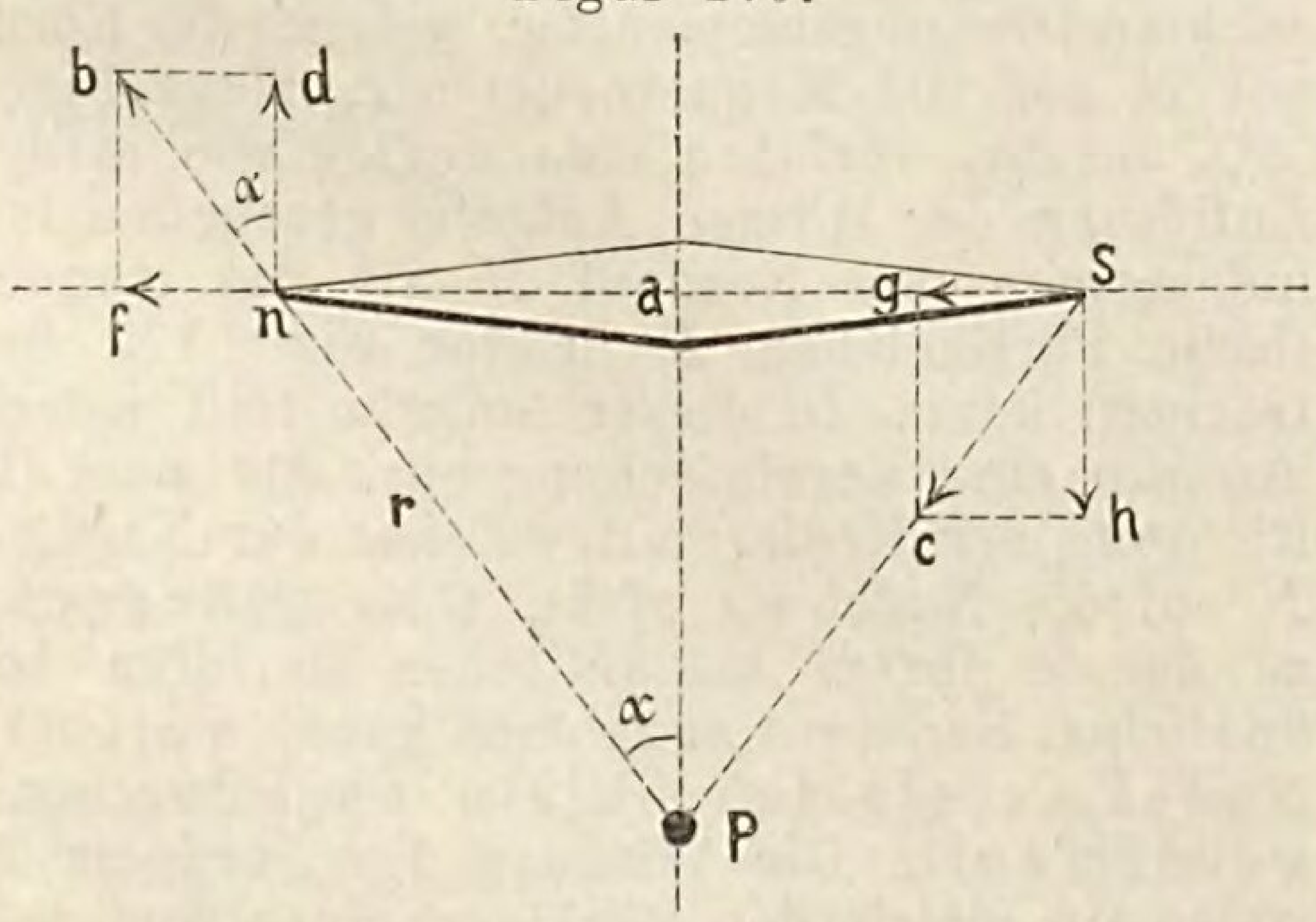
1). . . . $x = -\frac{\frac{8000}{100} \cdot 1200}{30^2}$

Hieraus erhält man für die gesuchte negative Beschleunigung:

$$x = -\frac{80 \cdot 1200}{30 \cdot 30} = \frac{8 \cdot 40}{3} = \frac{320}{3} = 106{,}7 \text{ mm}$$

Aufgabe 17. Auf eine Deklinationsnadel ns, siehe Figur 179, deren magnetische Axe $ns = 100$ mm lang ist, und welche im Nordpol $n = 100$ positive Einheiten, im Südpol $s = 100$ negative Einheiten freien Magnetismus enthält, wirkt ein magnetisches Partikelchen P, das 500 positive Einheiten magnetischen Fluidums enthält und von der Mitte der Nadel in eine senkrechte Entfernung $aP = 25$ mm wirkend gedacht wird. Welches Drehungsmoment übt dieses magnetische Partikelchen auf die Nadel aus, wenn die Masse der Nadel unberücksichtigt bleibt?

Figur 179.



Auflösung. Da das magnetische Partikelchen positiven (Nord-) Magnetismus enthält, so wirkt es auf den Pol n abstossend in der Richtung nb, auf den Pol s der Nadel anziehend in der Richtung sc.

Zerlegt man jede der Kräfte nb und sc in zwei Komponenten, von welchen die eine (nd, bezw. sh) senkrecht zur magnetischen Axe der Nadel ist, und von welchen die andre (nf, bezw. sg) in die Richtung jener Axe fällt, so kommen in bezug auf die Drehung der Nadel nur die zu ns senkrechten Komponenten (nd und sh) in Betracht. Da diese Komponenten nd und sh gleich und parallel sind, aber entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Wirkung des magnetischen Partikelchens P auf die Nadel ns gleich der Wirkung eines sogen. Kräftepaares. Bezeichnet man die eine dieser Komponenten, z. B. nd mit y, und beachtet man, dass der senkrechte Abstand beider, d. i. die Länge der Nadel = 100 mm ist, so hat man nach der Erkl. 414 für das gesuchte Drehungsmoment x die Beziehung:

1). $x = y \cdot 100$

Zur Bestimmung der noch unbekannten Komponente y verfährt man wie folgt:

Für die Entfernung $nP = r$ der magne-

Erkl. 610. Aus dem rechtwinkligen Dreieck Pan, siehe Figur 179, erhält man nach dem pythagoreischen Lehrsatz:

$$\overline{nP}^2 = \overline{na}^2 + \overline{Pa}^2$$

oder, da

$$nP = r$$

$$na = \frac{ns}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$Pa = 100 \text{ mm ist,}$$

$$r = \sqrt{50^2 + 100^2}$$

Hülfsrechnungen:

1). $x = \dfrac{500 \,.\, 100^3}{(50^2+100^2)^{\frac{3}{2}}} = \dfrac{500000000}{12500^{\frac{3}{2}}}$

$$\log x = \log 500000000 - \frac{3}{2} \cdot \log 12500$$

Nun ist:

$$\log 500000000 = 8{,}6989700$$

$$-\frac{3}{2} \cdot \log 12500 = -6{,}1453650 \text{ (s. Hülfsrechn. 2)}$$

$$\log x = 2{,}5536050$$

$$6039$$

$$11$$

mithin:

$$\text{numlog } x = 357{,}77$$

2). $(50^2+100^2)^{\frac{3}{2}} = (2500+10000)^{\frac{3}{2}} = 12500^{\frac{3}{2}}$

$$\log 12500^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{2} \cdot 3 \,.\, \log 12500$$

Nun ist:

$$\log 12500 = 4{,}0969100$$

$$.3$$

$$12{,}2907300$$

$$\cdot \frac{1}{2}$$

$$\log 12500^{\frac{3}{2}} = 6{,}1453650$$

tischen Kräfte n und P hat man nach der Erkl. 610:

a). $nP = r = \sqrt{50^2 + 100^2}$

Ferner hat man für die Intensität $nb = b$ der Abstossung der magnetischen Kräfte P und n nach der in der Erkl. 609 aufgestellten Gleichung 2).:

b). $nb = b = \dfrac{100 \,.\, 500}{r^2} = \dfrac{100 \,.\, 500}{50^2 + 100^2}$

Für die Komponente $nd = d = y$ hat man in dem bei d rechtwinkligen Dreieck ndb die Beziehung:

$$\cos \alpha = \frac{nd}{nb} = \frac{d}{b} = \frac{y}{b}$$

oder:

c). $y = b \,.\, \cos \alpha$

Da $\alpha = \sphericalangle bnd = \sphericalangle nPa$ ist und aus dem rechtwinkligen Dreieck nPa:

d). $\cos \alpha = \dfrac{aP}{nP} = \dfrac{100}{\sqrt{50^2 + 100^2}}$

sich ergibt, so erhält man für die Komponente y den Wert:

$$y = \frac{100 \,.\, 500}{50^2 + 100^2} \cdot \frac{100}{\sqrt{50^2 + 100^2}}$$

oder:

$$y = \frac{500 \,.\, 100^2}{(50^2+100^2)^{\frac{2}{2}} \,.\, (50^2+100^2)^{\frac{1}{2}}}$$

2). $y = \dfrac{500 \,.\, 100^2}{(50^2+100^2)^{\frac{3}{2}}}$

Aus den Gleichungen 1). und 2). erhält man schliesslich für das gesuchte Drehungsmoment x:

$$x = \frac{500 \,.\, 100^3}{(50^2+100^2)^{\frac{3}{2}}}$$

oder nach nebenstehender Hülfsrechnung:

$$x = 357{,}77$$

Aufgabe 18. Wie durch die Figur 180 dargestellt ist, wirkt der kräftige Magnetstab NS auf die kleine Deklinationsnadel ns und zwar so, dass die magnetische Axe des Magnetstabs senkrecht auf dem magnetischen Meridian $\mathfrak{N}\,S$ steht und durch die Drehaxe a der Deklinationsnadel geht. Wie gross sind die Drehungsmomente, welche in bezug auf die sehr klein zu denkende Magnetnadel ausgeübt werden und zwar:

a). vom Nordpol N,
b). vom Südpol S,
c). von dem ganzen Magnet NS?

Hierbei soll als gegeben vorausgesetzt werden:
1). die Länge L des Magnetstabs NS;
2). die Länge l der Nadel;
3). die Mengen m des Magnetismus, welche man sich in den Polen des Magnetstabs angehäuft zu denken hat;

Auflösung. A). Zur Bestimmung des gesuchten Drehungsmoments x, welches der Nordpol N auf die Magnetnadel ns, siehe Figur 180, ausübt, verfahre man analog wie in der Auflösung der vorigen Aufgabe geschehen ist, indem man den Nordpol N als das magnetische Partikelchen P in der Figur 179 betrachten kann. In dieser Aufgabe tritt jedoch insofern eine Vereinfachung ein, als man die Richtung der Kraft, mit welcher der Nordpol N auf die Nadel ns wirkt, stets senkrecht zu der in ihrem magnetischen Meridian befindlichen Nadel ns annehmen kann, weil die Nadel ns als sehr klein angenommen werden soll. Die Wirkung des Nordpols N ist somit gleich der Wirkung eines zur Axe

4). die Mengen m_1 des Magnetismus, welche man sich in den Polen der kleinen Nadel zu denken hat;
5). die Entfernung $ab = r$ der Mitten der beiden Magnetstäbe;
6). das magnetische Moment M $(= m \, . \, L)$ des Magnetstabs NS;
7). das magnetische Moment M_1 $(= m_1 \, . \, l)$ der Nadel;
8). der Ablenkungswinkel u der Magnetnadel vom magnetischen Meridian unter gleichzeitiger Einwirkung des Magnetstabs NS und des Erdmagnetismus.

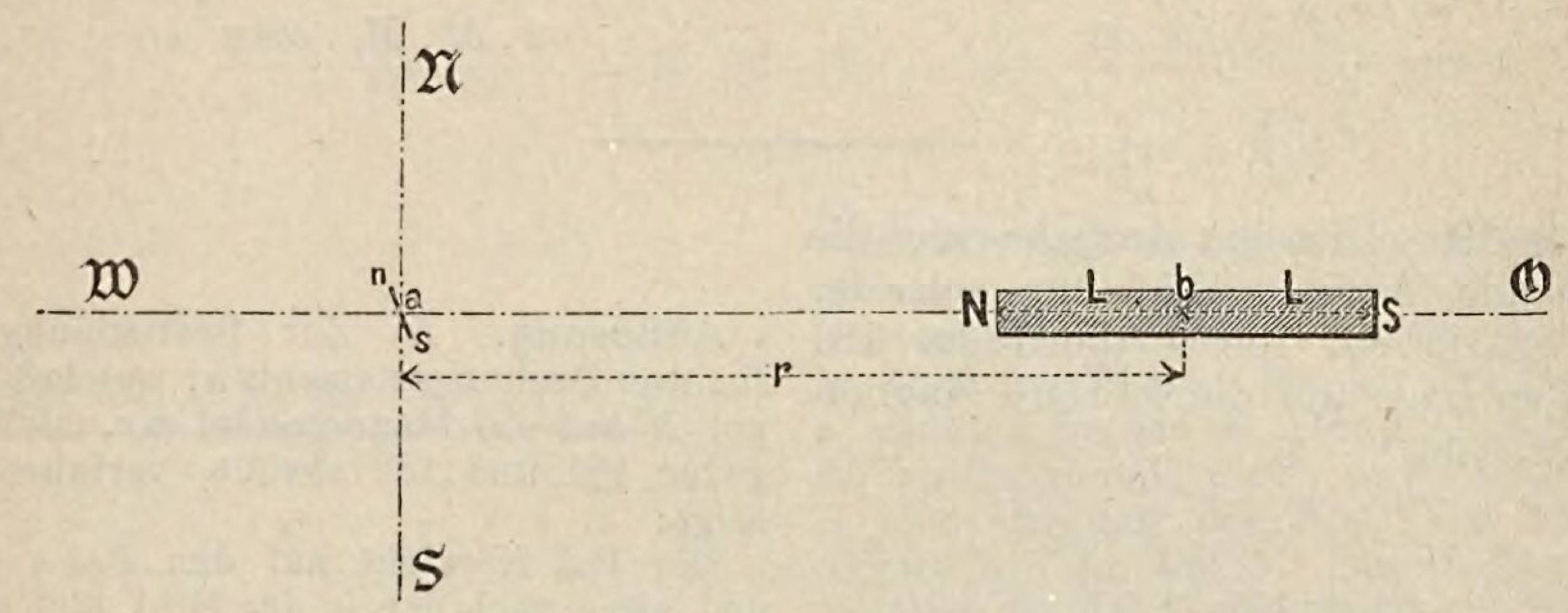
der Nadel senkrecht wirkenden Kräftepaares, von welchen jede Kraft nach der Erkl. 609 eine Intensität

$$= \frac{m \, . \, m_1}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2}$$

besitzt. Für das Drehungsmoment dieses Kräftepaares, bezw. für das Drehungsmoment, welches der Nordpol N des Magnetstabs auf die Nadel ausübt, wenn sie sich im magnetischen Meridian befindet, hat man somit nach der Erkl. 414:

$$\frac{m \, . \, m_1}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2} \cdot l$$

Figur 180.



Ist die Magnetnadel um den Winkel u von ihrem magnetischen Meridian abgelenkt, so erhält man somit nach der Erkl. 498 für das gesuchte Drehungsmoment x:

$$1). \quad x = \frac{m \, . \, m_1 \, . \, l}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2} \cdot \cos u$$

B). Zur Bestimmung des gesuchten Drehungsmoments y, welches der Südpol S auf die kleine Magnetnadel ausübt, verfahre man in analoger Weise; man erhält:

$$2). \quad y = \frac{- m \, . \, m_1 \, . \, l}{\left(r + \frac{1}{2} L\right)^2} \cdot \cos u$$

C). Zur Bestimmung des gesuchten Drehungsmoments Z, welches von dem ganzen Magnetstab auf die Nadel ns ausgeübt wird, beachte man, dass dasselbe gleich der Summe der Drehungsmomente ist, welches die beiden Pole N und S auf die Nadel ausüben. Mit Benutzung der vorstehenden Gleichungen hat man somit für Z die Bestimmungsgleichung:

$$3). \quad Z = \frac{m \, . \, m_1 \, . \, l}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2} \cdot \cos u + \frac{- m \, . \, m_1 \, . \, l}{\left(r + \frac{1}{2} L\right)^2} \cdot \cos u$$

Hieraus erhält man Z der Reihe nach wie folgt:

$$Z = m \, . \, m_1 \, . \, l \, . \cos u \left(\frac{1}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2} - \frac{1}{\left(r + \frac{1}{2} L\right)^2} \right)$$

Erkl. 611.

$$\frac{1}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2} - \frac{1}{\left(r + \frac{1}{2} L\right)^2}$$

$$= \frac{\left(r + \frac{1}{2} L\right)^2 - \left(r - \frac{1}{2} L\right)^2}{\left(r - \frac{1}{2} L\right)^2 \cdot \left(r + \frac{1}{2} L\right)^2}$$

$$= \frac{r^2 + r \, . \, L + \frac{1}{4} L^2 - r^2 + r \, . \, L - \frac{1}{4} L^2}{\left(\left(r - \frac{1}{2} L\right) \cdot \left(r + \frac{1}{2} L\right)\right)^2}$$

$$= \frac{2 r \, . \, L}{\left(r^2 - \frac{1}{4} L^2\right)^2}$$

Erkl. 612.

$$\frac{r}{\left(r^2 - \frac{1}{4} L^2\right)^2} = \frac{r}{r^4 - \frac{1}{2} r^2 \, . \, L^2 + \frac{1}{16} L^4}$$

Verwandelt man diesen Quotienten durch

Partialdivision in eine unendliche Reihe, so erhält man analog der Erkl. 489:

$$\begin{array}{l|l}
r \;.\;.\;.\;.\;.\;. & r^4 - \frac{1}{2} r^2 . L^2 + \frac{1}{16} L^4 \\ \hline
\underset{-}{r} - \underset{+}{\frac{L^2}{2r}} + \underset{-}{\frac{L^4}{16\,r^3}} & \frac{1}{r^3} + \frac{L^2}{2\,r^5} + \ldots \\ \hline
\quad \frac{L^2}{2r} - \frac{L^4}{16\,r^3} & \\
\quad \frac{L^2}{2r} - \frac{L^4}{4\,r^3} + \frac{L^6}{32\,r^5} &
\end{array}$$

$$Z = m\,.\,m_1\,.\,l\,.\,cos\,u \cdot \frac{2\,r\,.\,L}{\left(r^2 - \frac{1}{4} L^2\right)^2} \quad \text{(siehe Erkl. 611)}$$

$$Z = 2\,.\,m\,L\,.\,m_1\,l\,.\,cos\,u \cdot \frac{r}{\left(r^2 - \frac{1}{4} L^2\right)^2}$$

Setzt man $m\,.\,L = M$ und $m_1\,.\,l = M_1$ und berücksichtigt die Erkl. 612, so erhält man:

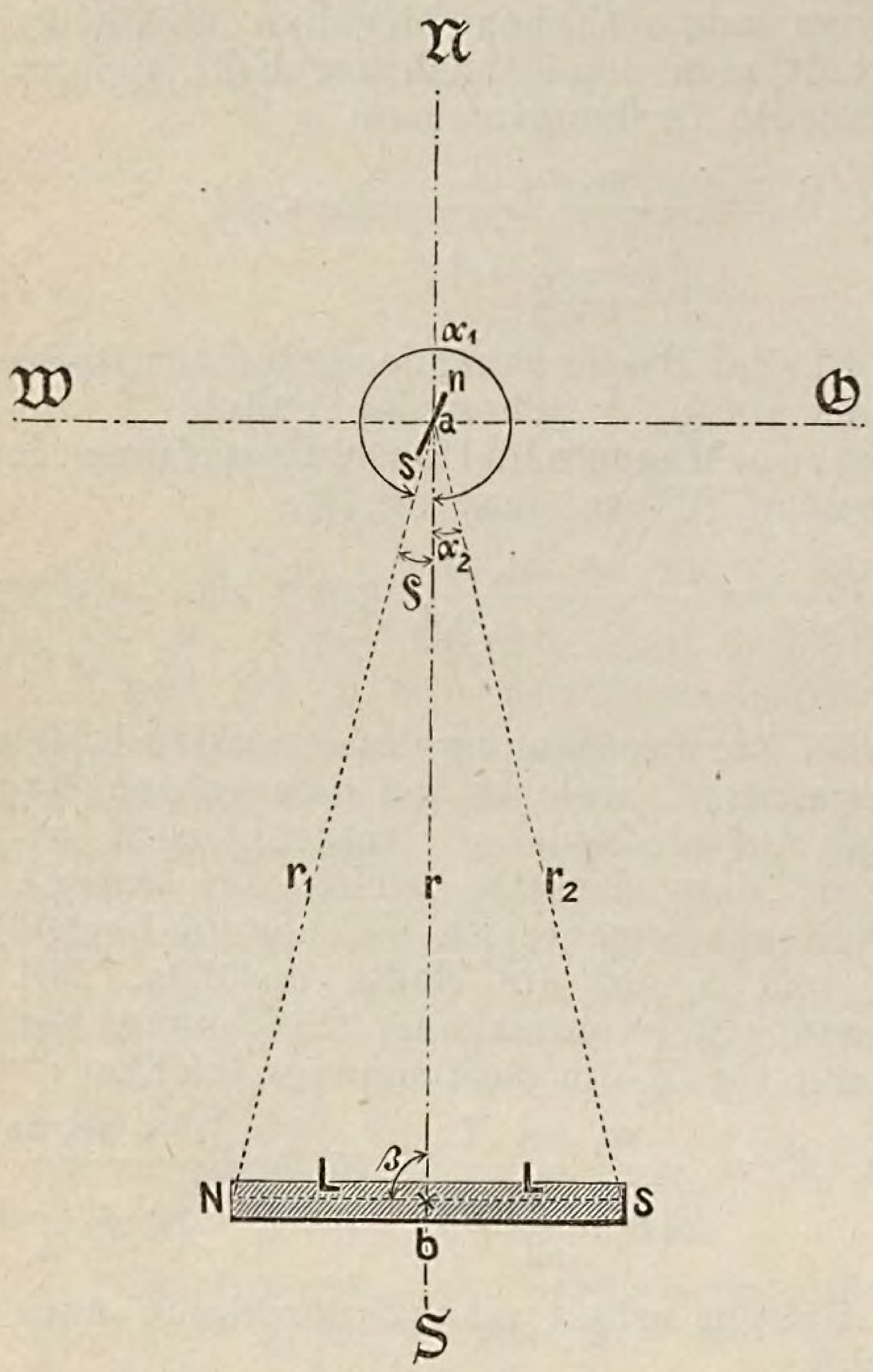
$$4).\quad Z = 2\,.\,M\,.\,M_1\,.\,cos\,u \left(\frac{1}{r^3} + \frac{L^2}{2\,r^5} + \ldots\right)$$

Wird die Entfernung r gegen die Länge L sehr gross, so kann man, ohne einen besonderen Fehler zu begehen, die Glieder in der Klammer, vom 2. ab, vernachlässigen und man erhält:

$$5).\quad Z = \frac{2\,.\,M\,.\,M_1\,.\,cos\,u}{r^3}$$

Aufgabe 19. Dieselbe Aufgabe wie die vorhergehende Aufgabe 18, nur soll der Magnet NS in der durch die Figur 181 dargestellten Lage auf die k l e i n e Magnetnetnadel wirken.

Figur 181.



Auflösung. A). Zur Bestimmung des gesuchten Drehungsmoments x, welches der Nordpol N auf die Magnetnadel ns, siehe die Figuren 181 und 182 ausübt, verfahre man wie folgt:

Der Pol N wirkt auf den Pol s anziehend und zwar nach der in der Erkl. 609 aufgestellten Gleichung 1). mit der Intensität:

$$\frac{m\,.\,m_1}{\overline{Ns}^2}$$

oder nach der Erkl. 613 mit der Intensität:

$$a)\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;\frac{m\,.\,m_1}{r^2 + \frac{L^2}{4}}$$

Repräsentiert sd, siehe Figur 182, die Grösse dieser Intensität und man zerlegt, um das bezügl. Drehungsmoment zu erhalten, sd nach dem Parallelogramm der Kräfte in die Komponenten sf und sg, so erhält man für die Komponente sf, deren Wirkung nur bei einer Drehung zur Geltung kommt, aus den ähnlichen Dreiecken sfd und sbN die Relation:

$$sf : Nb = sd : sN$$

Setzt man hierin:

$$Nb = \frac{L}{2}$$

$$sd = \frac{m\,.\,m_1}{r^2 + \frac{L^2}{4}}$$

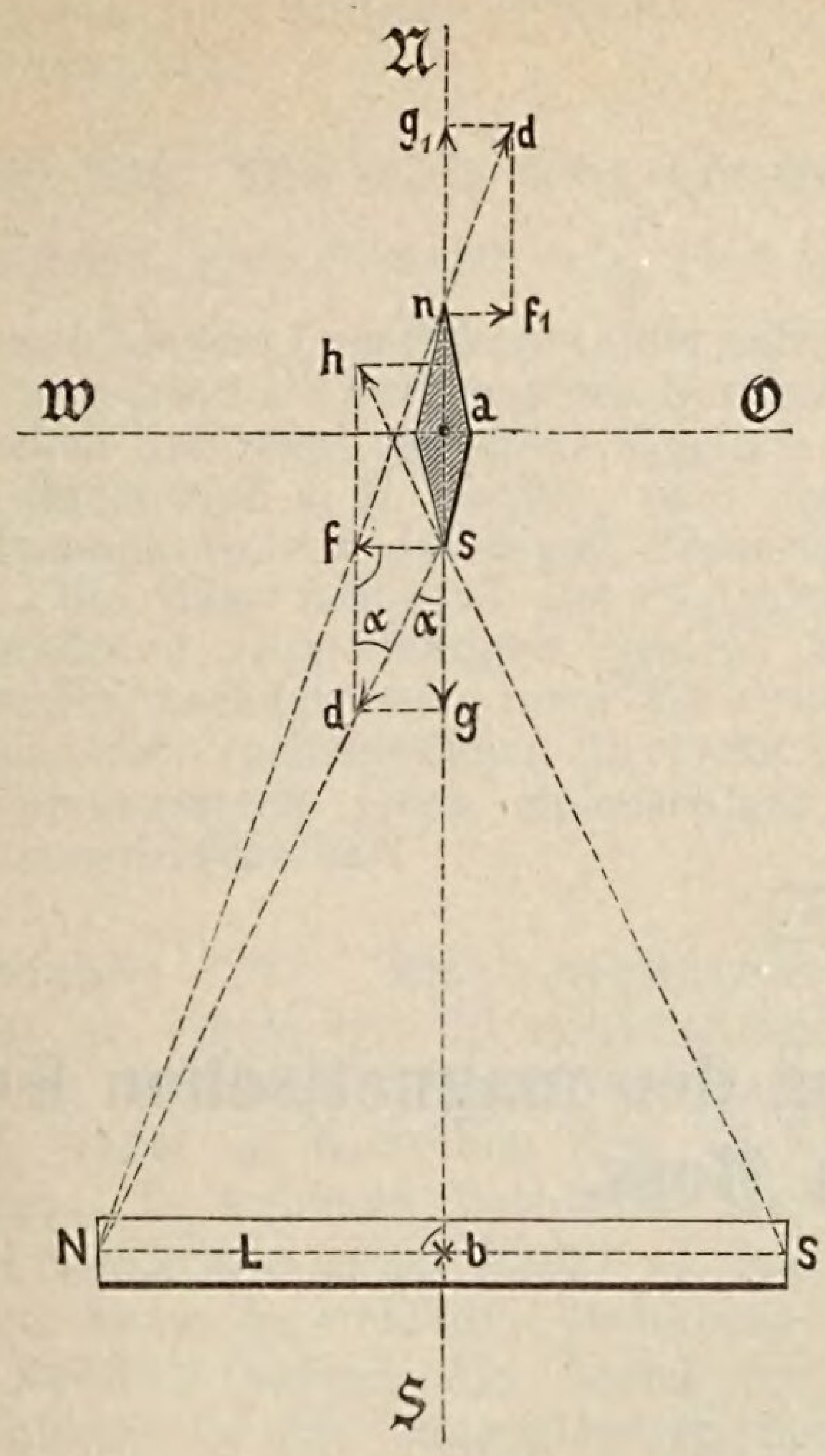
$$\text{und } sN = \sqrt{r^2 + \frac{L^2}{4}} \quad \text{(s. Erkl. 613)}$$

so erhält man für die Komponente sf:

$$sf = \frac{L}{2} \cdot \frac{m\,.\,m_1}{r^2 + \frac{L^2}{4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{r^2 + \frac{L^2}{4}}}$$

oder:

Figur 182.



Erkl. 613. In Figur 182 ist:

$$\overline{Ns}^2 = \overline{bs}^2 + \overline{Nb}^2$$

Da nun Nb gleich der halben Länge L des Magnetstabs NS ist und da ferner die Magnetnadel ns sehr klein, also $bs = ba$, bezw. $= r$ gesetzt werden kann, so kann man:

$$\overline{Ns}^2 = r^2 + \frac{L^2}{4}$$

setzen.

Erkl. 614.
$$\frac{1}{r^2+\frac{L^2}{4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{r^2+\frac{L^2}{4}}} = \frac{1}{\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{2}{2}} \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

Erkl. 615. Der Pol N, siehe Figur 182, wirkt auf den Nordpol n der Nadel abstossend in der Richtung nd_1. Da die Länge der Nadel ns sehr klein ist in bezug auf die Entfernung des Magnetstabs NS, so kann man nd und nd_1 als die Richtungen paralleler, aber entgegengesetzt wirkender Kräfte betrachten, deren Intensitäten, dargestellt durch nd und nd_1, gleich sind. Für die Wirkung des Pols N auf die Pole n und s kann man somit die Wirkung des Kräftepaares sf und sf_1 substituieren.

b). $$sf = \frac{m \cdot m_1 \cdot L}{2 \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{(siehe Erkl. 614)}$$

Analog wie in voriger Auflösung erhält man nach den Erkl. 414 und 615 somit für das Drehungsmoment, welches der Nordpol N auf die Nadel ns ausübt:

c). . . . $$\frac{m \cdot m_1 \cdot L \cdot l}{2 \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

und, wenn die Nadel um den Winkel u von ihrem magnetischen Meridian abgelenkt ist, für das gesuchte Drehungsmoment x nach der Erkl. 498:

1). $$x = \frac{m \cdot m_1 \cdot L \cdot l}{2 \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \cos u$$

B). Zur Bestimmung des gesuchten Drehungsmoments y, welches der Südpol S auf die kleine Magnetnadel ns ausübt, verfahre man in analoger Weise. Da der Pol S auf s abstossend in der Richtung sh und aus derselben Entfernung wirkt, so verursacht der Pol S eine Drehung der Nadel in demselben Sinne wie der Pol N. Das Drehungsmoment, welches der Pol S ausübt, ist an Grösse gleich dem des Pols N. Man hat somit für das gesuchte Drehungsmoment y, wenn die Nadel um den Winkel u von ihrem magnetischen Meridian abgelenkt ist, wie vorhin:

2). $$y = \frac{m \cdot m_1 \cdot L \cdot l}{2 \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \cos u$$

C). Für das gesuchte Drehungsmoment Z, welches der ganze Magnetstab auf die Nadel ausübt, hat man analog wie in der vorigen Aufgabe:

$$Z = \frac{m \cdot m_1 \cdot L \cdot l}{2 \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \cos u + \frac{m \cdot m_1 \cdot L \cdot l}{2 \cdot \left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \cos u$$

oder:

$$Z = \frac{m L \cdot m_1 l}{\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \cos u = \frac{M \cdot M_1}{\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \cos u$$

und nach der Erkl. 616:

3). $$Z = \frac{M \cdot M_1}{r^3} \cdot \cos u$$

Erkl. 616. Setzt man:

$$\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}} = \sqrt{\left(r^2+\frac{L_2}{4}\right)^3}$$

und verwandelt den Quotienten der Klammer nach den Gesetzen der Partialdivision, siehe die Erkl. 489, 491 und 612, in eine unendliche Reihe, so erhält man:

$$\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}} = \sqrt{\frac{1}{r^6}+\frac{3\,L^2}{4\,r^8}+\ldots}$$

Vernachlässigt man die Glieder vom 2. ab unter der Wurzel, da dieselben bei grossen Entfernungen für r sehr klein werden, so erhält man:

$$\left(r^2+\frac{L^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}} = \sqrt{\frac{1}{r^6}} = \frac{1}{r^3}$$

6). Aufgaben über die Bestimmung der magnetischen Kraft nach relativem Mass.

Aufgabe 20. Wenn D die Kraft bedeutet, mit welcher die erdmagnetische Kraft (die Direktionskraft) auf eine um 90⁰ aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkte Deklinationsnadel wirkt, wie gross ist alsdann die Kraft, mit welcher sie auf diese Deklinationsnadel wirkt, wenn sie um einen Winkel $\alpha = 30^0$ von dem magnetischen Meridian abgelenkt ist?

Auflösung. Stellt, siehe Figur 183, $\mathfrak{N}\mathfrak{S}$ die Lage des magnetischen Meridians, ns die um 90⁰ aus demselben abgelenkte Deklinationsnadel dar, so ist die Richtung der magnetischen Erdkraft D, welche z. B. auf den Pol s wirkt, parallel $\mathfrak{N}\mathfrak{S}$. Da dieselbe unverändert fortwirkt, so ist die Richtung derselben, wenn die Nadel die Lage $n_1 s_1$ hat, immer noch parallel $\mathfrak{N}\mathfrak{S}$.

Stellt die Strecke $s_1 D$ die Grösse (Intensität) der Kraft D dar und man zerlegt diese Kraft D nach dem Parallelogramm der Kräfte in die Komponenten $s_1 a$ und $s_1 b$, so erhält man unter der Berücksichtigung, dass die in der Richtung $n_1 s_1$ wirkende Komponente $s_1 a$ auf die Drehung der Nadel keinen Einfluss mehr ausübt, dass aber die auf $n_1 s_1$ senkrecht wirkende Komponente $s_1 b$ eine Wirkung (Drehung) auf dieselbe verursacht, also die Komponente $s_1 b$ die gesuchte Kraft x ist, für diese Kraft x:

$$\sin\alpha = \frac{s_1 b}{D s_1} = \frac{x}{D} \quad \text{(siehe Erkl. 617 und 619)}$$

oder:

1). . . . $x = D \,.\, \sin\alpha$ (siehe Erkl. 418)

für $\alpha = 30^0$

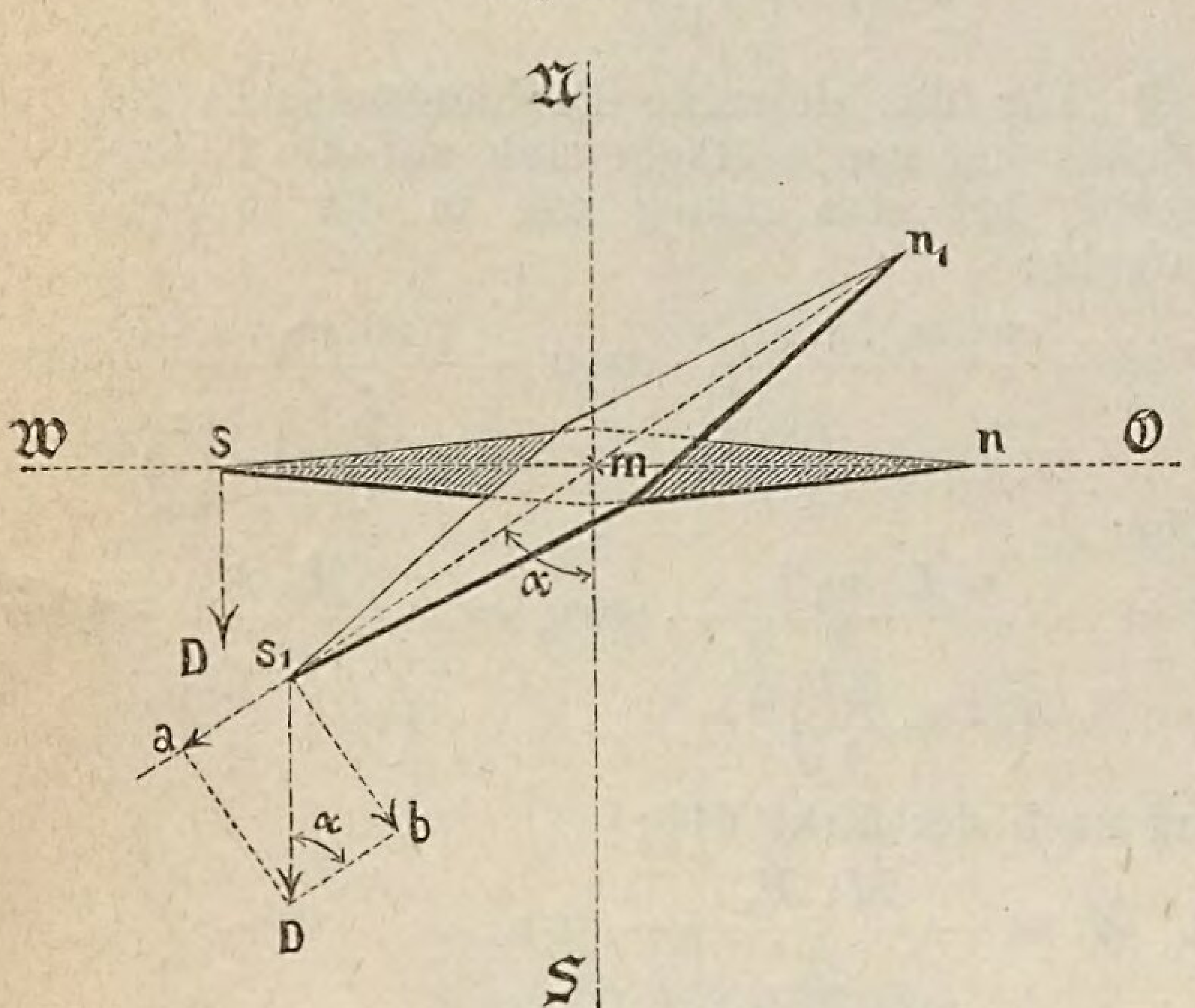
ist $\sin\alpha = \sin 30^0 = \frac{1}{2}$

(siehe Erkl. 619)

und man erhält für die gesuchte Kraft x:

$$x = D \,.\, \sin 30^0 = \frac{1}{2} D$$

Figur 183.



Erkl. 617. In der Figur 183 ist:

$$\begin{aligned} s_1 D &\parallel m\mathfrak{S} \\ b D &\parallel m s_1 \\ \hline \sphericalangle s_1 D b &= \sphericalangle s_1 m \mathfrak{S} = \alpha \end{aligned}$$

Erkl. 618. In betreff der trigonometrischen Relationen siehe Kleyers Lehrbuch der ebenen Trigonometrie.

Erkl. 619. Die Werte der goniometrischen Funktionen, wie z. B. $\sin 30^0 = \frac{1}{2}$ (= 0,5), kann man aus Kleyers Logarithmentafeln entnehmen, oder man kann sie auch aus den Bestimmungsdreiecken der regul. Polygone ableiten.

So findet man z. B. $\sin 30^0$, wenn man das Bestimmungsdreieck des regul. Sechsecks benutzt, die Höhe fällt und aus dem hierdurch entstandenen rechtwinkligen Dreieck $\sin 30^0$ berechnet, nachdem man zuvor die Seiten des entstandenen rechtwinkligen Dreiecks in ein Bestimmungsstück jenes gleichseitigen Dreiecks ausgedrückt hat.

Aufgabe 21. Eine Deklinationsnadel macht an einem Ort 60 Schwingungen pro Minute, an einem andern Ort macht dieselbe Nadel in derselben Zeit 75 Schwingungen. In welchem Verhältnis stehen die Direktionskräfte dieser Nadel an den beiden Orten, bezw. in welchem Verhältnis stehen die Kräfte, welche die Nadel bei jeder Ablenkung in den magnetischen Meridian wieder zurückführen?

Erkl 620. Nach der Antwort der Frage 166 besteht zwischen den Direktionskräften D und D_1 zweier gleichen aber verschieden stark magnetisierten Magnetstäben (Deklinationsnadeln) oder was dasselbe heisst, zwischen den Direktionskräften D und D_1 einer und derselben Deklinationsnadel, welche aber der Einwirkung verschieden starker Magnete ausgesetzt ist, und den entsprechenden Schwingungszahlen n und n_1 die Relation:

$$D : D_1 = n^2 : n_1^2 \quad \text{(siehe Formel 13)}$$

Formel 13: $D : D_1 = n^2 : n_1^2$

Auflösung. Setzt man in der vorstehenden Formel:

$$D : D_1 = n^2 : n_1^2$$

für n und n_1 die gegebenen Schwingungszahlen, so erhält man:

$$D : D_1 = 60^2 : 75^2$$

oder:

$$D : D_1 = (60 : 75)^2 = (4 : 5)^2 = 16 : 25$$

d. h. das gesuchte Verhältnis ist $= 16 : 25$

Aufgabe 22. Ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab macht pro Minute, wenn er nur unter dem Einfluss des Erdmagnetismus oscilliert, 50 Schwingungen; wenn er aber auch noch der gleichzeitigen Einwirkung eines andern Magnets ausgesetzt wird, so macht er in derselben Zeit 70 Schwingungen. In welchem Verhältnis steht die Direktionskraft jenes horizontal schwingenden Magnetstabs zu der magnetischen Kraft des letzteren Magnets, welche auf jenen Magnet wirkend gedacht wird?

Erkl. 621. Unter der Direktionskraft eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs hat man die Grösse der magnetischen Kraft zu verstehen, mit welcher die erdmagnetische Kraft (bezw. deren horizontale Komponente,

Formel 13: $D : D_1 = n^2 : n_1^2$

Auflösung. Bezeichnet man mit D die Direktionskraft des in horizontaler Ebene schwingenden Magnetstabs (siehe Erkl. 621) und mit F die entsprechende Direktionskraft desselben in bezug auf den andern Magnet, wenn der Einfluss der erdmagnetischen Kraft unberücksichtigt bleibt, also mit $D + F$ die Direktionskraft jenes horizontal schwingenden Magnetstabs in bezug auf die gleichzeitige Wirkung der erdmagnetischen Kraft und des andern Magnets, so hat man nach vorstehender Formel 13 die Relation:

$$D : (D + F) = 50^2 : 70^2$$

da jener Stab in horizontaler Ebene liegt) auf jenen Magnetstab wirkt.

Erkl. 622. Ein Lehrsatz aus der Proportionslehre heisst:

„In jeder Proportion verhält sich die Differenz der Glieder des 1. Verhältnisses zur Differenz der Glieder des 2. Verhältnisses wie ein paar homologe Glieder.“

Siehe Kleyers Lehrbuch der Proportionslehre, bezw. Heft 7 der Encyklopädie.

Hieraus findet man das gesuchte Verhältnis $D:F$ der Reihe nach wie folgt:

$$\frac{D+F}{D} = \frac{70^2}{50^2}$$

$$\frac{D+F-D}{D} = \frac{70^2-50^2}{50^2} \quad \text{(siehe Erkl. 622)}$$

$$\frac{F}{D} = \frac{(70+50)(70-50)}{50^2} = \frac{120.20}{50.50} = \frac{24}{25}$$

somit ist das gesuchte Verhältnis:

$$D:F = 25:24$$

Aufgabe 23. Der Magnetstab einer *Coulomb*schen Drehwage befindet sich bei untordiertem Aufhängedraht im magnetischen Meridian; durch Drehung des Knopfes y, siehe Figur 128, um 160° wird der Draht tordiert, infolgedessen der Magnetstab eine Ablenkung von 16° aus seinem magnetischen Meridian zeigt. Hierauf wird der Magnetstab herausgenommen und stärker magnetisiert (oder durch einen andern, jenem fast gleichen Magnetstab ersetzt), die Drehwage so gestellt, dass sich bei untordiertem Draht der Magnetstab im magnetischen Meridian befindet, dann der Knopf y um 435° gedreht und infolgedessen eine Ablenkung des Magnetstabs von 15° beobachtet. Aus diesen Angaben soll man das Verhältnis der Direktionskräfte beider Magnetstäbe bestimmen?

Erkl. 623. Nach der Antwort der Frage 165 besteht der Satz:

„Die Direktionskräfte (auch die magnetischen Momente, siehe Erkl. 443) zweier gleich grossen und aus gleichem Material bestehenden, aber verschieden stark magnetisierten Magnetstäbe verhalten sich wie die Winkel, um welche der Aufhängedraht tordiert werden muss, um den beiden Magnetstäben gleiche Ablenkungen aus dem magnetischen Meridian zu erteilen,“ in Zeichen:

1). . . $D:D_1 = (\delta-\alpha):(\delta_1-\alpha)$ (siehe Formel 11)

oder:

2). . . $M:M_1 = (\delta-\alpha):(\delta_1-\alpha)$ (siehe Formel 12, Erkl. 443)

Auflösung. Zur Bestimmung des gesuchten Verhältnisses hat man nach nebenstehender Erkl. 623 zunächst die Winkel zu bestimmen, um welche der Aufhängedraht tordiert werden muss, damit in beiden Fällen der Magnetstab um einen und denselben Winkel aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, was wie folgt geschieht:

Für den ersten Teil des Experiments beträgt die Torsion des Fadens 160° — 16° ($=\delta-\alpha$); diese Torsion war nötig, damit der Magnetstab um 16° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt wurde. Um diesen Magnetstab z. B. nur um 1° aus seinem magnetischen Meridian abzulenken, ist somit eine Torsion von $\frac{160-16}{16}$ Grad erforderlich.

Für den zweiten Teil des Experiments beträgt die Torsion des Fadens 435° — 15° ($=\delta_1-\alpha_1$); diese Torsion war nötig, damit der Magnetstab um 12° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt wurde. Um denselben ebenfalls z. B. nur um 1° aus seinem magnetischen Meridian abzulenken, ist somit eine Torsion von $\frac{435-15}{15}$ Grad erforderlich.

Nach der Erkl. 623 hat man hiernach für das Verhältnis der Direktionskräfte, bezw. der magnetischen Kräfte (der magnetischen Momente) des verschieden stark magnetisierten Magnetstabs:

$$D:D_1 = M:M_1 = \frac{160-16}{16} : \frac{435-15}{15} = 9:26$$

Aufgabe 24. Ein Magnetstab wirkt auf eine kleine Magnetnadel in der durch die Figur 184 dargestellten sogenannten ersten Hauptlage aus der Entfernung 350 mm und bringt eine Ablenkung jener Nadel aus ihrem magnetischen Meridian um 11° 20′ hervor.

In welchem Verhältnis steht das magnetische Moment des Magnetstabs zu der horizontalen Komponente T des Erdmagnetismus?

Auflösung. Wirkt ein Magnetstab in der durch die Figur 184 dargestellten sogenannten ersten Hauptlage aus der Entfernung r auf eine sehr klein zu denkende Nadel, so hat man zwischen dem magnetischen Moment M des Magnetstabs, der Entfernung r, dem Ablenkungswinkel u und der horizontalen Komponente T der erdmagnetischen Kraft (siehe Ant-

Hülfsrechnung:

$$log \frac{M}{T} = 3 . log 350 + log\, tg\, 11^0 20'$$

Nun ist:

$$log\, 350 = 2{,}5440680$$
$$.3$$
$$\overline{7{,}6322040}$$
$$+ log\, tg\, 11^0 20' = + 9{,}3019514 - 10$$
$$\overline{16{,}9341554 - 10}$$
$$\text{oder:} \quad = 6{,}9341554$$

1549
5
4,6

mithin:

$$\frac{M}{T} = 8593209$$

wort der Frage 191) nach der Erkl. 505, bezw. nach Antwort der Frage 178 die Relation:

$$1). \;.\;.\;.\;.\; \frac{M}{T} = r^3 . tg\, u$$

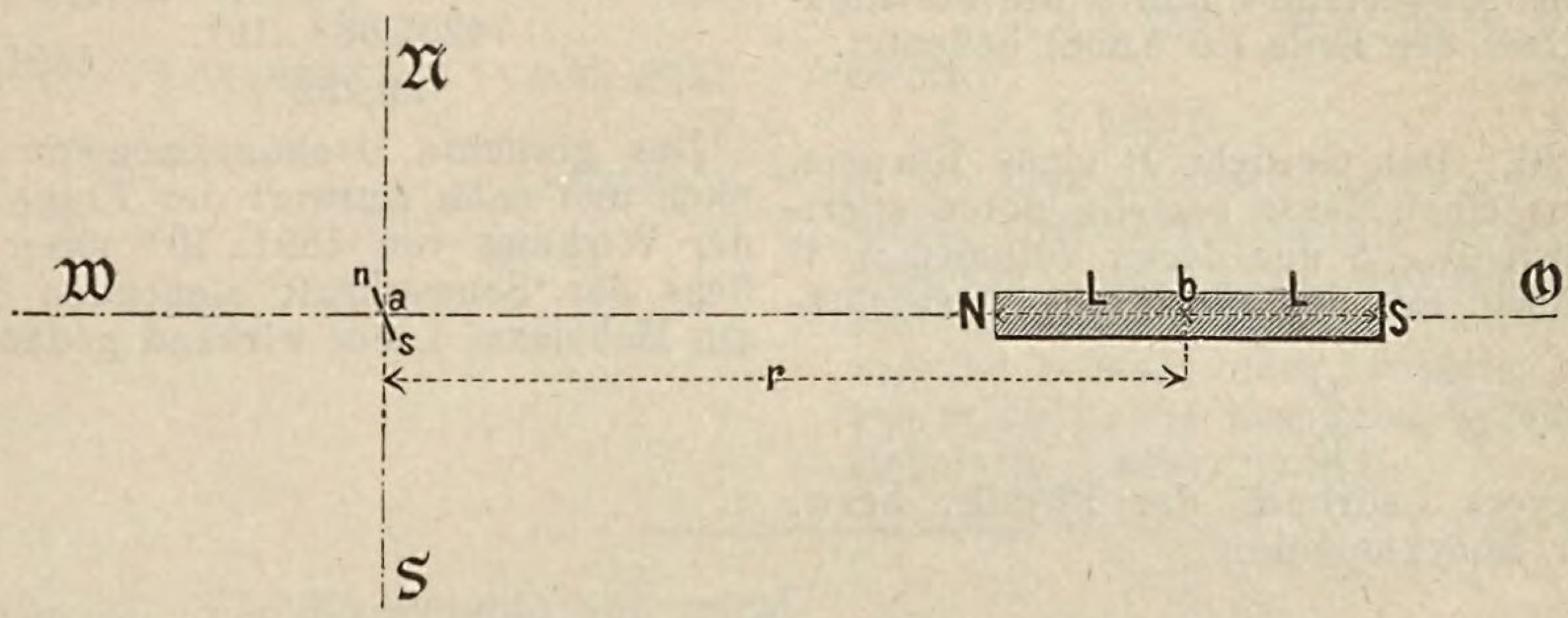
Für die gegebenen Zahlenwerte erhält man somit für das gesuchte Verhältnis $\frac{M}{T}$:

$$2). \;.\;.\;.\;.\; \frac{M}{T} = 350^3 . tg\, 11^0 20'$$

oder nach nebenstehender Hülfsrechnung:

$$\frac{M}{T} = 8593209$$

Figur 184.



7). Aufgaben über die Bestimmung der magnetischen Kraft nach absolutem Mass.

Aufgabe 25. Ein parallelopipedischer Magnetstab hat eine Länge von 500 mm, eine Breite von 25 mm und eine Dicke von 10 mm und ist das spezifische Gewicht des hierzu benutzten Materials = 7,2.

Dieser Magnetstab wird so aufgehängt, dass er sich in horizontaler Ebene frei bewegen kann, und beobachtet man dann die Schwingungsdauer für kleine (isochrone) Schwingungen.

Welches ist die Direktionskraft dieses Magnetstabs, bezw. das Drehungsmoment, das die erdmagnetische Kraft auf diesen Magnetstab ausübt, in absolute Krafteinheiten ausgedrückt, für den Fall, dass derselbe um 90⁰ aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt wird und dass jene beobachtete Schwingungsdauer = 10 Sekunden beträgt?

Erkl. 624. Zwischen dem Trägheitsmoment K eines Magnetstabs, der Direktionskraft D, bezw. dem Drehungsmoment D, das die erdmagnetische Kraft auf den Magnetstab ausübt, wenn derselbe um 90^0 aus seinem magnetischen

Formel 15: $D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$

Auflösung. Zur Berechnung der gesuchten Direktionskraft, bezw. des gesuchten Drehungsmoments x hat man nach vorstehender Formel 15 (siehe Erkl. 624) die Bestimmungsgleichung:

$$1). \;.\;.\;.\; x = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$$

in welcher K das Trägheitsmoment, bezw. die in der Entfernung = 1 mm von der Drehaxe konzentriert zu denkende Masse (siehe Erkl. 465) und t die Schwingungsdauer bedeutet.

Für das Trägheitsmoment K erhält man nach der Erkl. 625:

$$a). \;.\;.\;.\; K = \frac{500^2 + 25^2}{12} . \frac{p}{9{,}808}$$

Substituiert man hierin für das Gewicht p den sich aus der in der Erkl. 626 aufgestellten Gleichung ergebenden Wert:

$$b). \;.\;.\;.\; p = S . V$$

Meridian abgelenkt ist, und der Schwingungsdauer t desselben, wenn der Magnetstab horizontal aufgehängt ist und isochrone Schwingungen macht, besteht nach der Antwort der Frage 167 die Relation:

1). $D = \frac{\pi^2 \cdot K}{t^2}$ (siehe Formel 15)

Erkl. 625. Das Trägheitsmoment K eines parallelopipedischen Körpers findet man nach der in der Erkl. 463 aufgestellten Formel 19:

1). $K = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g}$

in welcher l die Länge, b die Breite, p das Gewicht des Magnetstabs und g die beschleunigende Kraft der Erde (= 9,808) bedeutet.

Erkl. 626. Das Gewicht P eines Körpers, welcher aus einer Masse besteht, deren spezifisches Gewicht = S und deren Volumen = V ist, findet man aus der spezifischen Gewichtsformel:

1). $S = \frac{P}{V}$

(Siehe Kleyers Lehrbuch der Physik, bezw. Heft 5 der Encyklopädie.)

Erkl. 627. Das Volumen eines parallelopipedischen Körpers ist = Länge mal Breite mal Höhe Kubikeinheiten (siehe Kleyers Lehrb. der Stereometrie).

wenn man $S = 7{,}2$

und nach der Erkl. 627

$$V = 500 \cdot 25 \cdot 10$$

setzt, so erhält man:

2). $K = \frac{500^2 + 25^2}{12} \cdot \frac{7{,}2 \cdot 500 \cdot 25 \cdot 10}{9{,}808}$

Aus den Gleichungen 1). und 2). und in Rücksicht, dass $t = 10$ gefunden wurde, erhält man:

3). $x = \frac{3{,}1415^2}{10^2} \cdot \frac{500^2 + 25^2}{12} \cdot \frac{7{,}2 . 500 . 25 . 10}{9{,}808}$

oder:

$$x = \frac{9{,}8696044}{100} \cdot \frac{250625}{12} \cdot \frac{900000}{9{,}808}$$

$$= 0{,}098696044 \cdot \frac{751875 \cdot 10^5}{39{,}232}$$

$$= \frac{74207{,}088 \cdot 10^5}{39{,}232} = 1891 \cdot 10^5$$

Das gesuchte Drehungsmoment x ist hiernach und nach Antwort der Frage 183 gleich der Wirkung von $1891 \cdot 10^5$ unter dem Einfluss der Schwerkraft stehenden Milligramm am Hebelarm 1 mm wirkend gedacht.

Aufgabe 26. Ein Magnetstab von 10 cm Länge, 1,5 cm Breite und Höhe, wiegt 168,5 Gramm. Dieser Magnetstab machte im Juni 1852 zu Freiburg in 5 Minuten 30,5 Schwingungen.

Wie gross ist das Drehungsmoment, welches die erdmagnetische Kraft auf diesen Magnetstab zu Freiburg ausübte, wenn derselbe um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt wurde?

Formel 15: $D = \frac{\pi^2 \cdot K}{t^2}$

Formel 19: $K = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g}$

Auflösung. Zur Berechnung des gesuchten Drehungsmoments x hat man nach vorstehender Formel 15 zunächst das Trägheitsmoment K des Magnetstabs zu bestimmen.

Nach vorstehender Formel 19 erhält man für das Trägheitsmoment K, wenn man in derselben:

$$l = 10$$
$$b = 1{,}5$$
$$p = 168{,}5$$

und $g = 981$ setzt:

$$K = \frac{10^2 + 1{,}5^2}{12} \cdot \frac{168{,}5}{981}$$

oder nach nebenstehender Hülfsrechnung:

a). . . . $K = 1{,}46357$ Gramm

Substituiert man diesen Wert für K in Formel 15 und berücksichtigt man, dass wenn der Magnetstab zu 30,5 Schwingungen 5 Minuten (= 300 Sekunden) braucht, er zu einer Schwin-

Hülfsrechnung:

1). $K = \frac{10^2 + 1{,}5^2}{12} \cdot \frac{168{,}5}{981} = \frac{102{,}25}{12} \cdot \frac{168{,}5}{981}$

$log K = log 102{,}25 + log 168{,}5 - (log 12 + log 981)$

Nun ist:

$log\,102{,}25 = 2{,}0096633$
$+ log\,168{,}5 = 2{,}2265999$
$-(log\,12 + log\,981) =$
$-(1{,}0791812 + 2{,}9916690) = -4{,}0708502$
$log\,K = 0{,}1654130$

3927
203
207,9

mithin:
$K = 1{,}46357$ Gramm

2). $2 \,.\, log\,9{,}84 = 0{,}9929951$
$.2$
$1{,}9859902$

gung $= \frac{300}{30{,}5} = 9{,}84$ Sekunden nötig hat und dass dies die Schwingungsdauer t in Formel 15 ist, so erhält man für das gesuchte Drehungsmoment x:

b). . . . $x = \frac{3{,}141^2 \,.\, 1{,}46357}{9{,}84^2}$

und hieraus erhält man der Reihe nach:

$log\,x = 2 \,.\, log\,3{,}141 + log\,1{,}46352 - 2 \,.\, log\,9{,}84$

Nun ist: $log\,3{,}141 = 0{,}4971499$
$.2$
$0{,}9942998$
$+ log\,1{,}46352 = 0{,}1654130$ (s. Hülfsr. 1)
(+1) $1{,}1597128$ (−1)
$-2 \,.\, log\,9{,}84 = -1{,}9859902$ (s. Hülfsr. 2)
$log\,x = 0{,}1737226 - 1$

7106
120

mithin:
$x = 0{,}14918$

d. h., nach Antwort der Frage 183, das gesuchte Drehungsmoment x ist gleich der Wirkung von 0,14918 unter dem Einfluss der Schwerkraft stehenden Gramm an dem Hebelarm 1 cm wirkend gedacht, oder ist gleich der Wirkung von 0,14918 . 981 absoluten Krafteinheiten am Hebelarm 1 mm wirkend.

Aufgabe 27. Ein Magnetstab von parallelopipedischer Form, dessen Länge 10 cm, dessen Breite und Höhe = 1,5 cm und dessen Gewicht = 168,5 Gramm betrug, machte im Juni 1852 zu Freiburg in 5 Minuten 30,5 Schwingungen. Zur Bestimmung des magnetischen Moments dieses Magnetstabs liess man denselben in der durch die Figur 151 dargestellten sogenannten ersten Hauptlage auf eine kleine Magnetnadel wirken und fand bei den Entfernungen von 0,45 m, 0,35 m, 0,30 m bezw. eine Ablenkung von 5⁰, 10,6⁰, 16,4⁰. Welches ist das magnetische Moment des Magnetstabs?

Erkl. 628. Zur Berechnung des magnetischen Moments hätte man auch direkt die in der Erkl. 531 aufgestellte Formel 25:

$$M = \sqrt{D \,.\, r^3 \,.\, tg u}$$

benutzen können. Der Sinn der Auflösung bleibt nach Antwort der Frage 185 derselbe.

Hülfsrechnung:

$log\,M = \frac{1}{2} \cdot (log\,0{,}14918 + log\,0{,}004004)$

Nun ist: $log\,0{,}14918 = 0{,}1737106 - 1$
$+ log\,0{,}004004 = 0{,}6024941 - 3$
$0{,}7762047 - 4$
$. \frac{1}{2}$
$log\,M = 0{,}3881023 - 2$

mithin: $M = 0{,}024440$ 1012

Auflösung. Zwischen dem magnetischen Moment M des Stabs und der horizontalen Komponente T der magnetischen Erdkraft bestehen die Relationen:

1). $M \,.\, T = D$

2). $\frac{M}{T} = r^3 \,.\, tg u$

Um hieraus M zu bestimmen, muss man zunächst die Grössen D und $r^3 \,.\, tg u$ berechnen.

Analog wie in der Aufgabe 26 gezeigt wurde, findet man:

a). $D = 0{,}14918$

und wie in der Aufgabe 24 gezeigt wurde, findet man:

b). $r^3 \,.\, tg u = 0{,}004004$

Die obigen Gleichungen gehen somit über in:

3). $M \,.\, T = 0{,}14918$

4). $\frac{M}{T} = 0{,}004004$

Hieraus erhält man durch Multiplikation:

$$M^2 = 0{,}14918 \,.\, 0{,}004004$$

oder: $M = \sqrt{0{,}14918 \,.\, 0{,}004004}$

und: $M = 0{,}02444$

d. h., nach Antwort der Frage 185, das gesuchte magnetische Moment ist gleich der Wirkung von 0,02444 Gramm am Hebelarm 1 cm, welche pro Sekunde die Beschleunigung von 1 mm haben.

8). Aufgaben über die Bestimmung der magnetischen Deklination, Inklination und Intensität.

α). Aufgaben über die magnetische Deklination.

Aufgabe 28. In Berlin betrug im Jahre 1874 die magnetische Deklination ungefähr $12^0\ 15'$ westlich. Um wieviel Grad muss man von dem magnetischen Meridian zu Berlin nach links herumgehen, damit man in die geographische Westrichtung kommt?

Auflösung. Die geographische West- und die geographische Nordrichtung bilden einen Winkel von 90^0 miteinander. Da nun die magnetische Deklination in Berlin westlich ist und $12^0\ 15'$ beträgt, d. h. da der magnetische Meridian mit der Nordrichtung einen Winkel von $12^0\ 15'$ bildet, so ist die gesuchte Anzahl x der Bogengrade, um welche man von dem magnetischen Meridian zu Berlin links herum zu gehen hat, um in die geographische Westrichtung zu kommen:

$$x = 90^0 - 12^0\,15'$$

oder: $$x = 77^0\,45'$$

Aufgabe 29. Nach den Angaben des Professor *Kohlrausch* lässt sich die Deklination φ Göttingens für die Zeit: $1870 + t$, wenn t eine Anzahl von Jahren bedeutet, nach der Formel:

$$\varphi = 14^0\,29{,}4' - 9{,}108' \,.\, t - 0{,}05349' \,.\, t^2$$

berechnen.

Wie gross ist hiernach die mittlere jährliche Abnahme der Deklination für Göttingen?

Erkl. 629. Professor *Rud. Herm. Arndt Kohlrausch*, bedeutender Physiker und Mathematiker, geb. 6. Nov. 1809, † 9. Mai 1858. Seine Untersuchungen über die Elektricitätslehren finden sich in *Poggendorffs* Annalen.

Hülfsrechnung:

Aus
$$\varphi = 14^0 29{,}4' - 9{,}108' \,.\, 10 - 0{,}05349' \,.\, 10^2$$
ergibt sich der Reihe nach:
$$\varphi = 14^0 29{,}4' - 91{,}08' - 5{,}349'$$
$$\varphi = 14^0 29{,}4' - 96{,}429' = 12^0 149{,}4' - 96{,}429'$$
oder:
$$\varphi = 12^0 52{,}971'$$

Auflösung. Um nach der in der Aufgabe angegebenen Formel die mittlere jährliche Abnahme der Deklination Göttingens zu berechnen, verfahre man wie folgt:

Zuerst berechne man die Deklination Göttingens für ein gewisses Jahr nach 1870, z. B. für das Jahr 1880; für diese Deklination findet man, da $1880 = 1870 + 10$ ist:

$$\varphi = 14^0\,29{,}4' - 9{,}108' \,.\, 10 - 0{,}05349' \,.\, 10^2$$

oder:

$$\varphi = 12^0\ 52{,}971' \quad \text{(siehe nebenst. Hülfsrechnung)}$$

In dem Zeitraume von 1870—1880, also während 10 Jahren betrug somit die Abnahme der Deklination:

$$= 14^0\,29{,}4' - 12^0\,52{,}971'$$

oder: $$= 1^0\,36{,}43'$$

für die mittlere jährliche Abnahme während dieser 10 Jahre findet man somit:

$$\frac{1^0\,36{,}43'}{10} = 0^0\,9{,}64'$$

β). Aufgaben über die magnetische Inklination.

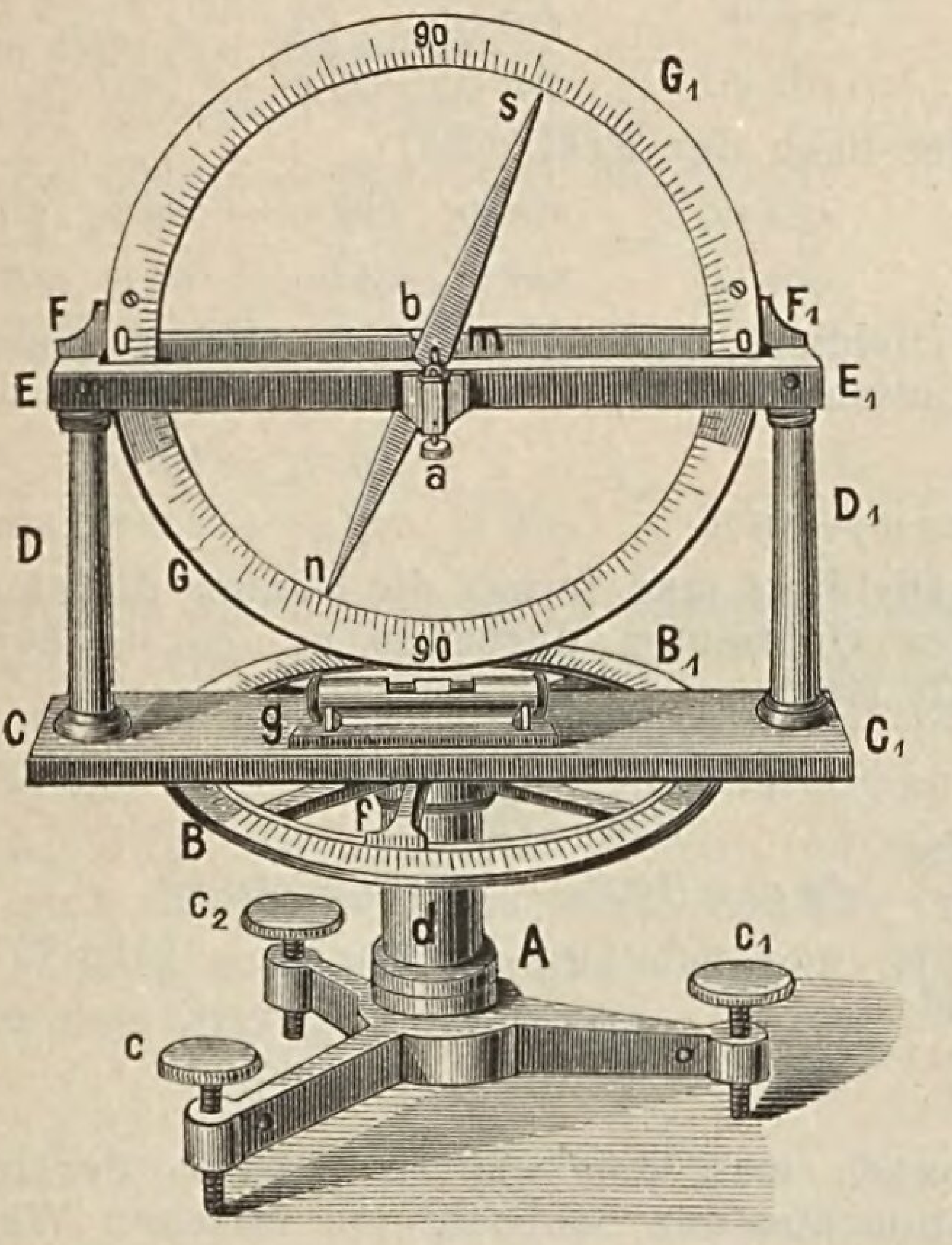
Aufgabe 30. Bei einem Inklinatorium, siehe Figur 185, wird durch Beobachtung festgestellt, dass der Schwerpunkt der Inklinationsnadel nicht mit deren Drehungspunkt zusammenfällt, sondern auf der magnetischen Axe der Nadel, jedoch um a mm mehr nach dem Nordpol hin liegt. Mittels dieses Inklinatoriums wurde die Inklination

Auflösung. Stellt, siehe Figur 186, NS die wirkliche, $N_1 S_1$ die fehlerhafte Lage der Inklinationsnadel in der durch die magnetische Axe gelegt gedachten Vertikalebene dar, und

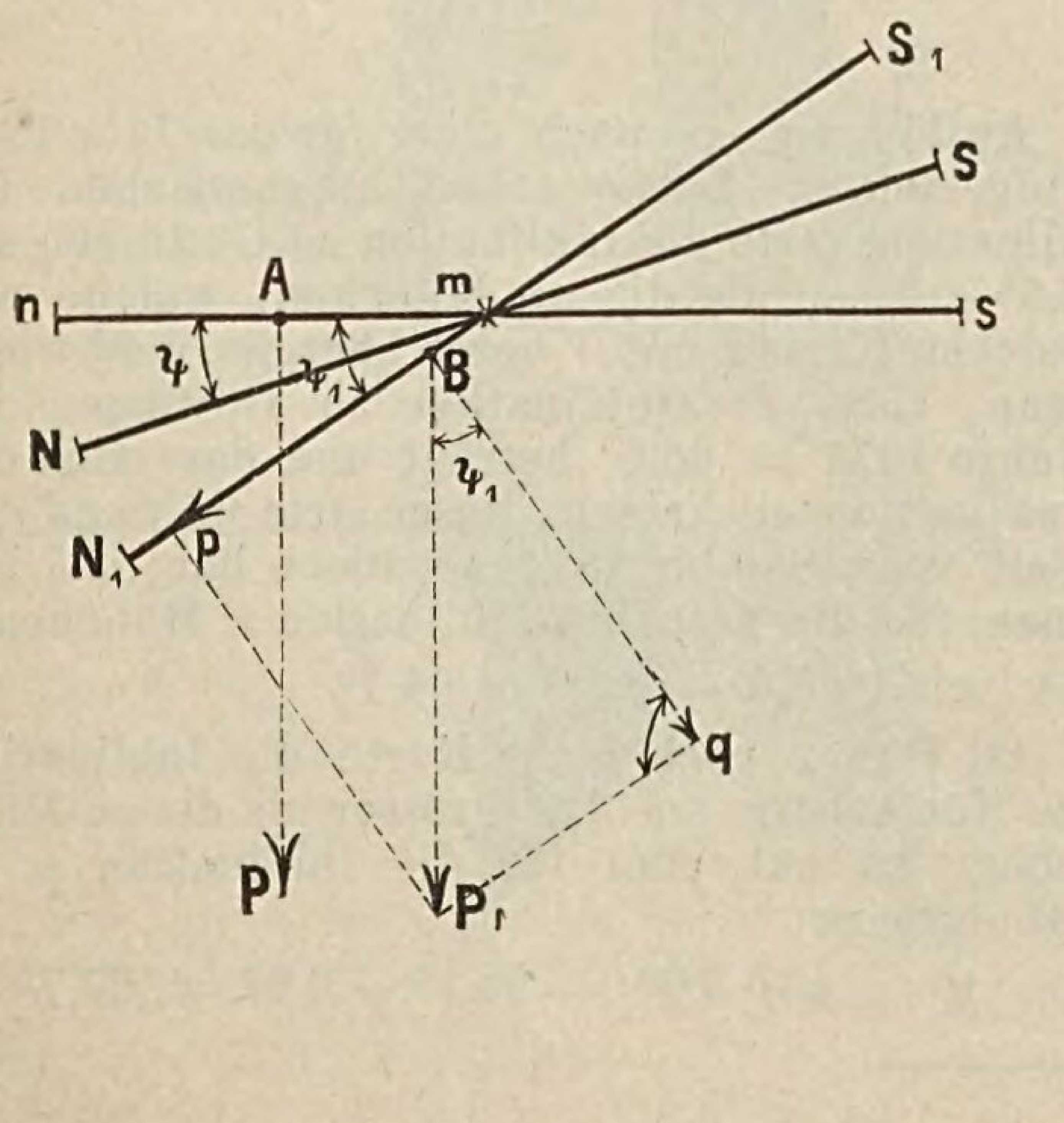
eines Orts gemessen und einmal hierfür der Wert ψ, ein andermal, nachdem die Nadel ummagnetisiert war, siehe Erkl. 312, der Wert ψ_1 gefunden.

Welches ist der wahre Wert der Inklination in Rücksicht des vorhin erwähnten Fehlers des Instruments, wenn P das Gewicht der Nadel in absoluten Krafteinheiten ausgedrückt ist, wenn ferner das magnetische Moment in den beiden Lagen der Nadel $= M$ und die Totalintensität des Erdmagnetismus $= J$ ist?

Figur 185.



Figur 186.



ist A der um Am ($= a$ mm) von der Drehaxe entfernt liegende Schwerpunkt dieser Nadel, so denke man sich diese Nadel in die **horizontale** Lage ns gedreht. In dieser gedachten Lage wirkt die Schwerkraft der Erde **senkrecht** auf die Richtung ns und man hat, wenn P das Gewicht (die Schwere) der Nadel bezeichnet, für das Drehungsmoment, welches in dieser Lage der Nadel die Schwerkraft der Erde (siehe Erkl. 416) auf sie ausübt:

$$P \,.\, Am \text{ oder } P \,.\, a$$

Um nun das Drehungsmoment zu finden, welches die Schwerkraft auf die Inklinationsnadel $N_1 S_1$ ausübt, denke man sich die Kraft $P \,.\, a = P_1$ im Abstande $= 1$ von m (in B) wirkend, denn in diesem Falle ist die Kraft $P \,.\, a$ ($= P_1$) gleich dem Drehungsmoment, welches sie ausübt am Hebelarm 1.

Diese im Abstand 1 von m wirkend gedachte Kraft P_1 ($= P \,.\, a$) denke man sich nach den Gesetzen des Parallelogramms der Kräfte in die Komponenten Bq und Bp zerlegt. Von diesen beiden Komponenten bringt nur die Komponente Bq eine drehende Wirkung auf die Nadel $N_1 S_1$ hervor. Für die Grösse dieser Komponente Bq, bezw. für deren Drehungsmoment erhält man aus dem bei q rechtwinkligen Dreieck unter der Berücksichtigung, dass der bei B liegende Winkel gleich dem Winkel $N_1 mn$, bezw. gleich der beobachteten Inklination ψ_1 (oder bei umgedrehter Lage der Inklinationsnadel $= \psi_2$) ist, die Beziehung:

$$\cos \psi_1 = \frac{Bq}{BP_1}$$

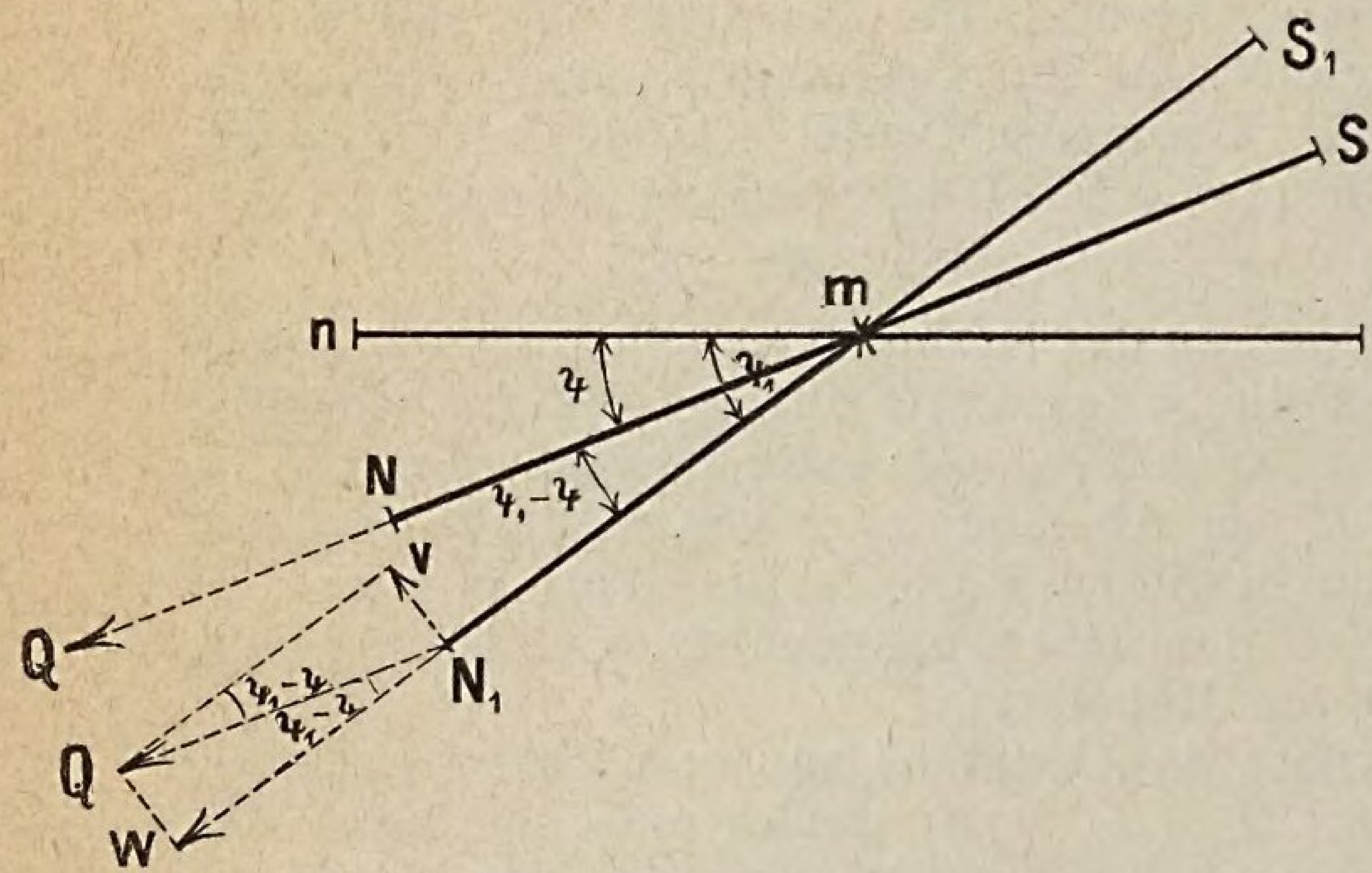
oder:

a). . $q = P_1 \,.\, \cos \psi_1 = P \,.\, a \,.\, \cos \psi_1$

Dieses Drehungsmoment, welches die Schwerkraft der Erde auf die Nadel dadurch ausübt, dass der Schwerpunkt derselben nicht mit dem Drehungspunkt m zusammenfällt, muss nun gleich sein dem Drehungsmoment, mit welchem die magnetische Erdkraft die Inklinationsnadel aus ihrer falschen Lage $N_1 S_1$ in ihre wirkliche Lage NS zu bringen sucht. Dies letztere Drehungsmoment findet man wie folgt:

Ist das magnetische Moment der Nadel $= M$, und ist die Totalintensität, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Inklinationsnadel wirkt, wenn sie in ihrer wirklichen Lage NS, siehe Figur 187, gedacht wird $= J$, so wirkt in der Richtung der Inklinationsnadel NS die Kraft $Q = J \,.\, M$ (siehe das in Antwort der Frage 172 aufgestellte zweite Gesetz), ohne jedoch ein Drehungsmoment hervorzubringen. Ist nun die Nadel aus ihrer wirklichen Lage in die falsche Lage $N_1 S_1$ abgelenkt, so findet man das Drehungsmoment, welches die Kraft Q bei dieser Lage auf dieselbe ausübt, indem man diese Kraft Q nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in die Komponenten v und w zerlegt. Von diesen Komponenten bringt nur die Komponente v eine Drehung hervor; für die Grösse derselben ergibt sich aus dem bei v rechtwinkligen Dreieck $QN_1 v$

Figur 187.



in Rücksicht, dass $\measuredangle vQN_1 = \measuredangle QN_1w = \measuredangle NmN_1 = \psi_1 - \psi$ ist, die Relation:

$$\sin \measuredangle vQN_1 = \frac{vN_1}{N_1Q}$$

oder:

b). . $v = J.M.\sin(\psi_1 - \psi)$

Da nach vorstehendem die durch die Gleichungen a). und b). bestimmten Drehungsmomente gleich sein müssen, so besteht für die erste Lage der Inklinationsnadel die Gleichung:

1). . $P.a.\cos\psi_1 = J.M.\sin(\psi_1 - \psi)$

In analoger Weise erhält man für die zweite Lage der Inklinationsnadel:

2). . $P.a.\cos\psi_2 = J.M.\sin(\psi - \psi_2)$

Durch Division erhält man aus den Gleichungen 1). und 2).:

$$\frac{\cos\psi_1}{\cos\psi_2} = \frac{\sin(\psi_1 - \psi)}{\sin(\psi - \psi_2)}$$

oder nach der Erkl. 630:

$$\frac{\cos\psi_1}{\cos\psi_2} = \frac{\sin\psi_1 . \cos\psi - \cos\psi_1 . \sin\psi}{\sin\psi . \cos\psi_2 - \cos\psi . \sin\psi_2}$$

Dividiert man die Zähler dieser gleichen Quotienten durch $\cos\psi_1 . \cos\psi$, so erhält man:

$$\frac{1}{\cos\psi_2 . \cos\psi} = \frac{tg\,\psi_1 - tg\,\psi}{\sin\psi . \cos\psi_2 - \cos\psi . \sin\psi_2}$$

Dividiert man ferner die Nenner dieser gleichen Quotienten durch $\cos\psi_2 . \cos\psi$, so erhält man:

$$1 = \frac{tg\,\psi_1 - tg\,\psi}{tg\,\psi - tg\,\psi_2}$$

oder:

$$tg\,\psi - tg\,\psi_2 = tg\,\psi_1 - tg\,\psi$$

$$2 . tg\,\psi = tg\,\psi_1 + tg\,\psi_2$$

und:

3). . $tg\,\psi = \frac{1}{2}(tg\,\psi_1 + tg\,\psi_2)$

wonach man den wahren Wert ψ der Inklination aus den beobachteten falschen Werten ψ_1 und ψ_2 bestimmen kann.

Erkl. 630. Eine goniometrische Formel heisst:

$\sin(\alpha - \beta) = \sin\alpha . \cos\beta - \cos\alpha . \sin\beta$

(siehe Kleyers Lehrbuch der Goniometrie).

Aufgabe 31. Nach der für das Jahr 1850 aufgestellten *Lamont*schen Inklinationskarte (siehe Erkl. 631) ist die Inklination zu Göttingen um 2,5°, die Inklination zu Königsberg um 3,6° grösser als die Inklination zu München. Welches sind die Inklinationen zu München und Königsberg für das Jahr 1874, wenn dieselben während dieser Zeit sich nicht verändert haben und wenn die Inklination zu Göttingen im Jahre 1874 = 66,6° betrug?

Erkl. 631. In betreff der *Lamont*schen magnetischen Karten siehe die Karte X, Seite 140, welche einen kurzen Auszug aus einer solchen Karte darstellt (siehe Erkl. 387).

Auflösung. Ist nach einer für das Jahr 1850 aufgestellten *Lamont*schen magnetischen Inklinationskarte die Inklination zu Göttingen um 2,5° grösser als die zu München, welche auf solchen Karten mit 0 bezeichnet ist, und weiss man, dass die Inklination zu Göttingen im Jahre 1874 = 66,6° beträgt und dass sich die Inklination an keinem dieser Orte während der Zeit von 1850 bis 1874 geändert hat, so hat man für die gesuchte Inklination x Münchens:

1). $x = 66{,}6^0 - 2{,}5^0 = 64{,}1^0$

Ist ferner nach jener Karte die Inklination zu Königsberg um 3,6° grösser als die zu München, so hat man für die Inklination y zu Königsberg:

2). $y = x + 3{,}6^0 = 64{,}1^0 + 3{,}6^0 = 67{,}7^0$

Aufgabe 32. Nach den Angaben des Professor *Kohlrausch* lässt sich die Inklination ψ Göttingens für die Zeit: $1870 + t$, wenn t eine Anzahl von Jahren bedeutet, nach der Formel:

$$\psi = 66^0\,43' - 1{,}749' \,.\, t + 0{,}01341' \,.\, t^2$$

berechnen.

Wie gross ist hiernach die mittlere jährliche Abnahme der Inklination für Göttingen?

Hülfsrechnung:

Aus:

$$\psi = 66^0\,43' - 1{,}749' \,.\, 10 + 0{,}01341' \,.\, 10^2$$

ergibt sich der Reihe nach:

$$\psi = 66^0\,43' - 17{,}49' + 1{,}341'$$

$$\psi = 66^0\,43' - 16{,}149' = 66^0\,26{,}851'$$

Auflösung. Um nach der in der Aufgabe gegebenen Formel die mittlere jährliche Abnahme der Inklination Göttingens zu berechnen, verfahre man wie folgt:

Zuerst berechne man die Inklination Göttingens für ein gewisses Jahr nach 1870, z. B. für das Jahr 1880; für diese Inklination findet man, da $1880 = 1870 + 10$ ist:

$$\psi = 66^0\,43' - 1{,}749' \,.\, 10 + 0{,}01341' \,.\, 10^2$$

oder:

$$\psi = 66^0\,26{,}851' \text{ (siehe nebenstehende Hülfsrechn.)}$$

In dem Zeitraum von 1870 bis 1880, also während 10 Jahren betrug die Abnahme der Inklination:

$$= 66^0\,43' - 66^0\,26{,}851'$$

oder: $= 16{,}149'$

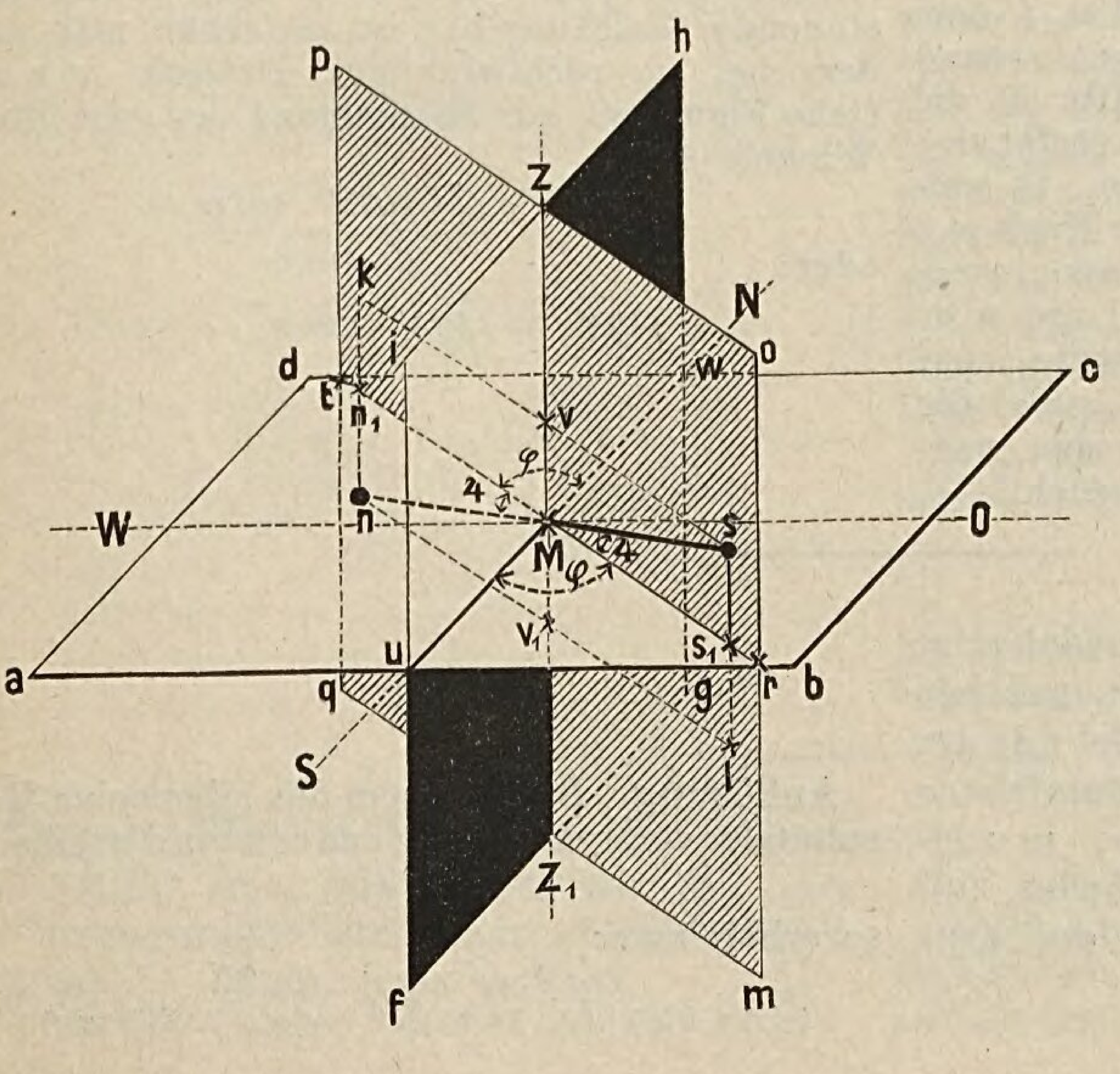
Für die mittlere jährliche Abnahme während dieser 10 Jahre findet man somit:

$$\frac{16{,}149'}{10} = 1{,}6149'$$

oder: $= \left(\frac{1{,}6149}{60}\right)^0 = 0{,}027^0$

Aufgabe 33. Eine Inklinationsnadel zeigt an einem Ort die Inklination ψ; welchen Winkel wird diese Inklinationsnadel mit der durch den Ort gehenden Horizontalebene bilden, wenn die vertikale Ebene, in welcher sich die Inklinationsnadel befindet, um den Winkel α aus dem magnetischen Meridian des Orts gedreht wird?

Figur 188.



Auflösung. Befindet sich, siehe Figur 188, die Inklinationsnadel ns in der vertikalen Ebene des magnetischen Meridians $mopq$, so wirkt auf dieselbe in der Richtung ns die magnetische Erdkraft mit ihrer g a n z e n Intensität J. Stellt hiernach z. B. die Lage der Strecke Mn die Grösse dieser Intensität dar, und man zerlegt dieselbe nach dem Parallelogramm der Kräfte in die horizontale Komponente Mn_1 und in die vertikale Komponente Mv_1, so hat man, wenn der Inklinationswinkel durch ψ bezeichnet wird, für jene horizontale Komponente Mn_1:

a). . $Mn_1 = J \,.\, \cos\psi$

(siehe Antw. der Frage 131)

und für jene vertikale Komponente Mv_1:

b). . $Mv_1 = J \,.\, \sin\psi$

Denkt man sich nunmehr, siehe Figur 189, die vertikale Ebene, in welcher sich die Inklinationsnadel ns befindet, um den Winkel α aus dem magnetischen Meridian $mopq$ gedreht und in die Lage xyy_1x_1 gebracht, so wird in dieser Lage die Inklinationsnadel nicht mehr mit der Horizontalebene $abcd$ den Winkel ψ, son-

dern einen andern Winkel β bilden, weil die magnetische Erdkraft nicht mehr mit ihrer ganzen Intensität, sondern nur mit einem Teil derselben auf die Nadel wirkt. Um nun eine Beziehung zwischen der Intensität, mit welcher die magnetische Erdkraft in dieser Lage der Inklinationsnadel auf dieselbe wirkt, und dem Winkel β zu finden, beachte man folgendes.

Bei der Drehung der gedachten vertikalen Ebene aus dem magnetischen Meridian $mopq$ in die Lage $x y y_1 x_1$ kann man statt der Inklinationsnadel selbst deren Komponenten Mn_1 und Mv_1 gedreht denken. Bei dieser gedachten Drehung verbleibt die vertikale Komponente Mv_1 in ihrer früheren Lage, während die horizontale Komponente Mn_1 in die Lage Mn_2 zu liegen kommt, und man kann die Kraft, mit welcher die magnetische Erdkraft auf die Inklinationsnadel ns in der Richtung der abgelenkten Lage ns, siehe Figur 189, wirkt, als die Resultante der in die Lage Mn_2 gedrehten horizontalen Komponente Mn_1 und der bei jener Drehung in ihrer ursprünglichen Lage verbleibenden vertikalen Komponente Mv_1 betrachten. Konstruiert man über den Strecken $Mn_2 = n_2 g = J . \cos\psi . \cos\alpha$ (siehe Erkl. 632) und Mv_1 das Parallelogramm $Mn_2 n v_1$, so stellt die Diagonale Mn, ihrer Grösse und Richtung nach den Teil der erdmagnetischen Kraft dar, welcher in der Richtung der abgelenkten Inklinationsnadel ns auf dieselbe wirkt.

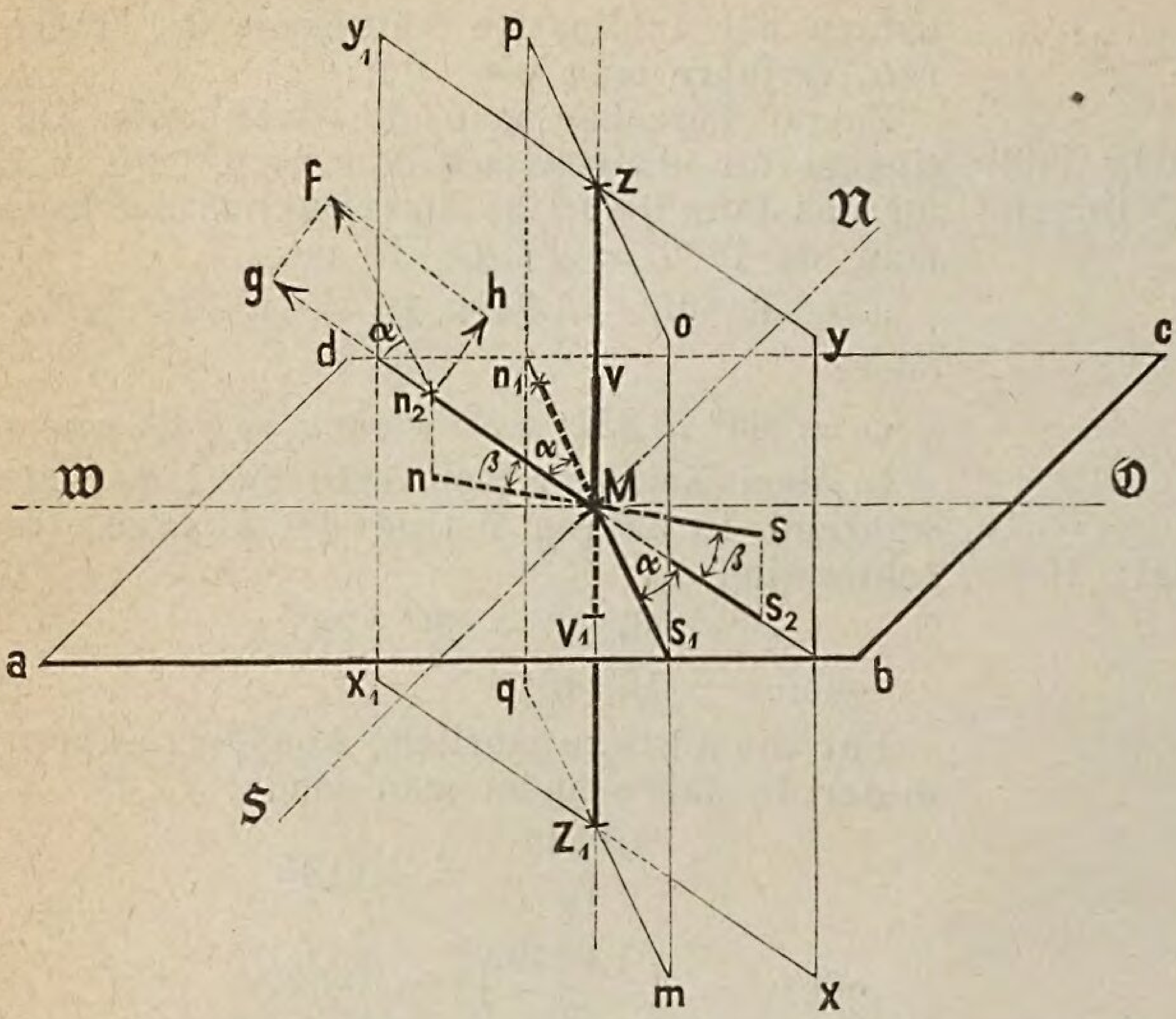
Da nun $Mn_2 = n_2 g = J . \cos\psi . \cos\alpha$ (siehe Erklärung 632) und $Mv_1 = J . \sin\psi$ [siehe vorstehende Gleichung b).] ist, so erhält man aus dem bei n_2 rechtwinkligen Dreieck Mnn_2, siehe Figur 189, zur Bestimmung des gesuchten Winkels β:

$$ctg\,\beta = \frac{J . \cos\psi . \cos\alpha}{J . \sin\psi}$$

oder:

1). . . . $ctg\,\beta = ctg\,\psi . \cos\alpha$

Figur 189.



Erkl. 632. Die horizontale Komponente Mn_1 (siehe Figur 189) stellt ihrer Richtung nach die magnetische Axe einer im magnetischen Meridian befindlichen Deklinationsnadel dar, auf welche nach umstehender Gleichung a). die magnetische Erdkraft mit einer Kraft $= J . \cos\psi$ wirkt. Denkt man sich diese horizontale Komponente (oder Deklinationsnadel) in die Lage $n_2 s_2$ gedreht, so wirkt diese Kraft $J . \cos\psi$ in der Richtung des magnetischen Meridians $mopq$, wie durch den Pfeil $n_2 f$ dargestellt ist. Wird diese Kraft $n_2 f$ $(= J . \cos\psi)$ nach dem Parallelogramm der Kräfte in die Komponenten $n_2 g$ und $n_2 h$ zerlegt, so ergibt sich aus dem rechtwinkligen Dreieck fgn_2, in welchem $\measuredangle\, gn_2 f = \alpha$ ist, dass von jener Kraft $n_2 f$ $(= J . \cos\psi)$ nur die Kraft $n_2 g$ $(= J . \cos\psi . \cos\alpha)$ in der Richtung der abgelenkten Lage $n_2 s_2$ wirkt, und dass die andre Komponente jener Kraft $n_2 f$, nämlich $n_2 h$ $(= J . \cos\psi . \sin\alpha)$ die gedachte Deklinationsnadel $n_2 s_2$ in den magnetischen Meridian zurückzudrehen sucht.

Aufgabe 34. Eine Inklinationsnadel zeigt an einem Ort die Inklination ψ; welchen Winkel wird diese Inklinationsnadel mit der durch den Ort gehenden Horizontalebene bilden, wenn die vertikale Ebene, in welcher sich die Inklinationsnadel befindet, 90^0 aus dem magnetischen Meridian des Orts gedreht wird?

Auflösung. Benutzt man das allgemeine Resultat der vorigen Aufgabe und setzt in derselben:

$$\alpha = 90^0$$

so erhält man:

$$ctg\,\beta = ctg\,\psi . \cos 90$$

[siehe Gleichung 1). in der vorigen Auflösung]

Erkl. 633. Ein goniometrischer Lehrsatz heisst:

„Der Kosinus eines Winkels von 90° ist = 0" (siehe Kleyers Lehrb. der Goniometrie).

Erkl. 634. Ein goniometrischer Lehrsatz heisst:

„Die Kotangens eines Winkels von 90° ist = 0" (siehe Kleyers Lehrb. der Goniometrie).

Da nun nach der Erkl. 633 $cos\,90^0 = 0$ ist, somit auch das Produkt $ctg\,\psi . cos\,90^0 = ctg\,\psi . 0 = 0$ wird, so erhält man:

$$ctg\,\beta = 0$$

und hieraus ergibt sich nach der Erkl. 634:

$$\beta = 90^0$$

d. h. die Inklinationsnadel steht in diesem Falle vertikal.

Aufgabe 35. Auf welche Weise kann man mittels einer einfachen Inklinationsnadel nach der sogenannten Schwingungsmethode die Inklination eines Orts bestimmen?

Auflösung. Will man mittels einer einfachen Inklinationsnadel die Inklination eines Orts bestimmen, hat man also kein vollständiges Inklinatorium, wie das durch die Figur 185 dargestellte, zur Verfügung, so kann man mit Anwendung der Schwingungsmethode wie folgt verfahren:

Bezeichnet man, siehe Figur 188, die totale Intensität, mit welcher die magnetische Erdkraft in der Richtung der Inklinationsnadel ns auf dieselbe wirkt, mit J, die Intensität der vertikalen Komponente $Mv_1 = n_1 n$ mit i_1, so hat man in bezug auf diese Intensitäten J und i_1 und der Inklination ψ in dem bei n_1 rechtwinkligen Dreieck $Mn_1 n$ die Relation:

$$1). \quad \ldots\ldots \quad sin\,\psi = \frac{i_1}{J}$$

Die Grösse der Inklination ψ liesse sich also bestimmen, wenn man das Verhältnis $i_1 : J$ der Intensität der vertikalen Komponenten und der Totalintensität selbst erkennen würde. Nach der Erkl. 342 hat man bei Benutzung der Schwingungsmethode für das Verhältnis dieser beschleunigenden Kräfte i_1 und J die Beziehung:

$$2). \quad \ldots\ldots \quad i_1 : J = n_1^2 : n^2$$

wenn n und n_1 die für gleiche Zeiten zu beobachtenden Schwingungszahlen bedeuten, welche die Inklinationsnadel in ihrer natürlichen Lage und welche deren vertikale Komponente, bezw. welche nach Auflösung der Aufgabe 34 jene Inklinationsnadel macht, wenn sie um 90° aus ihrem magnetischen Meridian gedreht wird, d. h. wenn sie so lange gedreht wird, bis sie eine vertikale Lage angenommen hat.

Man hat somit zur Bestimmung der Inklination ψ die Relation:

$$3). \quad \ldots\ldots \quad sin\,\psi = \frac{n_1^2}{n^2}$$

in welcher n_1 und n die vorhin erwähnten Schwingungszahlen bedeuten.

Aufgabe 36. Auf welche Weise kann man mittels einer Inklinationsnadel die Lage des magnetischen Meridians eines Orts bestimmen?

Auflösung. Hat man keine Deklinations-, sondern nur eine Inklinationsnadel und man will mittels derselben die Lage des magnetischen

Meridians eines Orts bestimmen, so drehe man dieselbe so lange, bis sie eine vertikale Lage annimmt. Denkt man sich in dieser Lage derselben zu der durch sie gelegt gedachten vertikalen Ebene eine andre vertikale Ebene gelegt, welche senkrecht zur ersteren ist, so gibt (nach der Auflösung der Aufgabe 34) die Lage derselben die Lage des gesuchten magnetischen Meridians an.

γ). Aufgaben über die magnetische Intensität.

Aufgabe 37. Ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab macht in Wien in 5 Minuten 20 Schwingungen. Derselbe Magnetstab macht in derselben Zeit zu Palermo 30 Schwingungen. In welchem Verhältnis steht die horizontale Intensität der magnetischen Erdkraft an diesen beiden Orten, wenn vorausgesetzt wird, dass sich die magnetische Kraft des Magnetstabs während des Transports nicht geändert hat?

Auflösung. Nach der in Antwort der Frage 133 aufgestellten Gleichung 1). hat man, wenn i und i_1 die magnetischen Horizontalintensitäten zweier Orte, N und n die in ein und derselben Zeit beobachteten Schwingungszahlen eines und desselben unverändert gebliebenen Magnetstabs bedeuten, für das gesuchte Verhältnis x der magnetischen Horizontalintensitäten zu Wien und Palermo:

$$x = \frac{i}{i_1} = \frac{20^2}{30^2}$$

oder:

$$x = 4:9$$

Aufgabe 38. Im Anfang des Jahres 1874 betrug in Leipzig die Horizontalintensität $= 1{,}89$ absolute Masseinheiten. Welches wird die Schwingungsdauer eines Magnetstabs daselbst sein, dessen Trägheitsmoment $= 20000 \,.\, 10^6$ mg beträgt und welchem bei einer um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Lage von der horizontalen Intensität Eins der magnetischen Erdkraft ein Drehungsmoment erteilt wird, das $= 1000 \,.\, 10^6$ absoluten Einheiten ist?

Formel 15: $D = \dfrac{\pi^2 \,.\, K}{t^2}$

Formel 9: $D = M \,.\, T$

Erkl. 635. Nach Antwort der Frage 167 besteht zwischen dem Drehungsmoment D, welches die erdmagnetische Kraft (die Direktionskraft) auf einen um 90^0 aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten und in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstab ausübt, dessen Trägheitsmoment K und dessen Schwingungsdauer t ist, die Beziehung:

1). $D = \dfrac{\pi^2 \,.\, K}{t^2}$ (siehe Formel 15)

Dieses Drehungsmoment D ist aber nach Antwort der Frage 162 abhängig von dem magnetischen Moment M des Stabs und von der Stärke, mit welcher die horizontale Komponente der magnetischen Erdkraft auf jenen

Auflösung. Zur Bestimmung der gesuchten Schwingungsdauer t dient nach der Erkl. 635 vorstehende Formel 15; setzt man in derselben:

$t = x$
$K = 20000 \,.\, 10^6$ mg
$D = M \,.\, T = M \,.\, i$ (siehe Erkl. 635),
bezw. $= 1000 \,.\, 10^6 \,.\, 1{,}89$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

1). $1000 \,.\, 10^6 \,.\, 1{,}89 = \dfrac{3{,}1415^2 \,.\, 20000 \,.\, 10^6}{x^2}$

Hieraus erhält man x wie folgt:

$$x^2 = \frac{3{,}1415^2 \,.\, 20000 \,.\, 10^6}{1000 \,.\, 10^6 \,.\, 1{,}89}$$

oder:

$$x = \sqrt{\frac{3{,}1415^2 \,.\, 20}{1{,}89}}$$

Diese Gleichung logarithmiert, gibt:

$$\log x = \frac{1}{2}\,(2 \,.\, \log 3{,}1415 + \log 20 - \log 1{,}89)$$

abgelenkten Magnetstab wirkt. Nach der Formel 9 besteht zwischen dem magnetischen Moment M und der horizontalen Komponente T der magnetischen Erdkraft, mit welcher sie auf die Einheit des magnetischen Moments, d. i. die Horizontalintensität i des betreffenden Orts, und dem Drehungsmoment D, welches hierdurch dem Magnetstab erteilt wird, die Beziehung:

2). $D = M.T$, bezw. $= M.i$

Nun ist:

$$\begin{aligned} \log 3{,}1415 &= 0{,}4971372 \\ & \quad .2 \\ & \overline{\quad 0{,}9942744} \\ +\log 20 &= 1{,}3010300 \\ & \overline{\quad 2{,}2953044} \\ -\log 1{,}89 &= -0{,}2764618 \\ & \overline{\quad 2{,}0188426} \\ & \quad .\tfrac{1}{2} \\ \log x &= 1{,}0094213 \end{aligned}$$

mithin: 4084

$x = 10{,}219$ 129

Die gesuchte Schwingungsdauer x beträgt hiernach: $x = 10{,}22''$.

Aufgabe 39. Wie gross ist in Berlin die Horizontalintensität des Erdmagnetismus nach absolutem Mass, wenn die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs, dessen Trägheitsmoment $= 20000 . 10^6$ mg und dessen magnetisches Moment $= 1000 . 10^6$ absolute Einheiten bestimmt wurde, 10,312 Sekunden beträgt?

Erkl. 636. Nach Antwort der Frage 191 hat man für die Horizontalintensität i des Erdmagnetismus die Beziehung:

1). $i = T$

Ferner hat man nach Antwort der Frage 178 für die Grösse T die Beziehung:

2). $T = \frac{D}{M}$

und für die Grösse D nach Antwort der Frage 167 die Beziehung:

3). $D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$

Aus diesen 3 Gleichungen erhält man für i:

4). $i = \frac{\pi^2 . K}{M . t^2}$

Auflösung. Nach der Erkl. 636 besteht zwischen der Horizontalintensität i eines Orts, dem Trägheitsmoment K eines Magnetstabs, dem magnetischen Moment M und der Schwingungsdauer t die Beziehung:

1). . $i = \frac{\pi^2 . K}{M . t^2}$

Setzt man für K und M die in absoluten Masseinheiten ausgedrückten Werte und den gegebenen Wert für t, so erhält man für die gesuchte Horizontalintensität x die Bestimmungsgleichung:

2). . $x = \frac{3{,}1415^2 . 20000 . 10^6}{1000 . 10^6 . 10{,}312^2}$

oder:

$$x = \frac{3{,}1415^2 . 20}{10{,}312^2} = 20 . \left(\frac{3{,}1415}{10{,}312}\right)^2$$

Diese Gleichung logarithmiert, gibt:

$\log x = \log 20 + 2 . (\log 3{,}1415 - \log 10{,}312)$

Nun ist: (+1) (−1)

$$\begin{aligned} \log 3{,}1415 &= 0{,}4971372 \\ -\log 10{,}312 &= -1{,}0133429 \\ & \overline{\quad 0{,}4837943-1} \\ & \quad .2 \\ & \overline{\quad 0{,}9675886-2} \\ +\log 20 &= 1{,}3010300 \\ \log x &= 2{,}2686186-2 \\ \text{oder:} &= 0{,}2686186 \end{aligned}$$

mithin: 6014

$x = 1{,}8561$ 172

Hiernach ist in Berlin die Horizontalintensität = 1,86 absolute Masseinheiten.

Aufgabe 40. Nach den für das Jahr 1850 aufgestellten *Lamont*schen Intensitätskarten (siehe Erkl. 631) ist die Horizontalintensität zu Göttingen um 0,15, die Hori-

zontalintensität zu Königsberg um 0,20 kleiner als die Horizontalintensität zu München. Welches sind die Horizontalintensitäten zu München und Königsberg im Jahr 1844, wenn man annimmt, dass während dieser Zeit keine Aenderung jener Intensitäten eingetreten ist und man weiss, dass die Horizontalintensität Göttingens 1,86 beträgt?

Auflösung. Analog der Lösung der Aufgabe 31 erhält man für die gesuchte Horizontalintensität x Münchens:

1). . . $x = 1{,}86 + 0{,}15 = 2{,}01$

und für die gesuchte Horizontalintensität y von Königsberg:

2). . . $y = 2{,}01 - 0{,}20 = 1{,}81$

Aufgabe 41. Nach den Angaben von Professor *Kohlrausch* lässt sich die Horizontalintensität der magnetischen Erdkraft zu Göttingen für die Zeit: $1870 + t$, wenn t eine Anzahl von Jahren bedeutet, nach der Formel:

$$i = 1{,}8497 + 0{,}00352 \,.\, t + 0{,}0000336 \,.\, t^2$$

berechnen.

Wie gross ist hiernach die mittlere jährliche Zunahme der Horizontalintensität für Göttingen?

Auflösung. Analog der Lösung der Aufgabe 32 erhält man z. B. für das Jahr 1880 $= 1870 + 10$:

$$i = 1{,}8497 + 0{,}00352 \,.\, 10 + 0{,}0000336 \,.\, 100$$

oder:

$$i = 1{,}88826$$

In dem Zeitraum von 1870 bis 1880, also während 10 Jahren beträgt somit die Zunahme der Intensität:

$$= 1{,}88826 - 1{,}8497 = 0{,}03856$$

Für die mittlere jährliche Zunahme während dieser 10 Jahre findet man somit:

$$\frac{0{,}03856}{10} = 0{,}0039$$

Aufgabe 42. Wie gross ist die Totalintensität des Erdmagnetismus in Freiburg, wenn man weiss, dass die Inklination daselbst $65^0\,30'$ und die Horizontalintensität $= 6{,}1165$ absolute Einheiten beträgt?

Erkl. 637. Zwischen der Totalintensität J, der Horizontalintensität i und der Inklination ψ eines Orts besteht nach Antwort der Frage 189 die Relation:

1). $J = \dfrac{i}{\cos\psi}$ (siehe Formel 26)

Formel 26: $J = \dfrac{i}{\cos\psi}$

Auflösung. Setzt man in vorstehender Formel:

$$J = x$$
$$i = 6{,}1165$$
$$\psi = 65^0\,30'$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

1). $x = \dfrac{6{,}1165}{\cos 65^0\,30'}$

Hieraus findet man x wie folgt:

$$\log x = \log 6{,}1165 - \log\cos 65^0\,30'$$

Nun ist:

$$\begin{aligned} \log 6{,}1165 &= 0{,}7865030 \\ -\log\cos 65^0\,30' &= +0{,}6177270 - 1 \\ &\;\; - \qquad\qquad + \\ \hline \log x &= 0{,}1687760 + 1 \\ \text{oder: } \log x &= 1{,}1687760 \end{aligned}$$

$$\frac{7626}{134}$$

mithin:

$$x = 14{,}749$$

d. h. die Totalintensität zu Freiburg ist gleich der Wirkung von 14,7 absoluten Krafteinheiten wirkend am Hebelarm 1 mm.

9). Aufgaben über die Sättigung von Magneten.

Aufgabe 43. Ein Magnetstab, welcher in horizontaler Ebene drehbar aufgehängt wird, macht pro Minute 5 Schwingungen; wird derselbe Magnetstab stärker magnetisiert, so macht er pro Minute 7 Schwingungen. In welchem Verhältnis ist hiernach die magnetische Kraft des Magnetstabs gesteigert worden?

Auflösung. Nach der in der Erkl. 446 aufgestellten Formel 14 verhalten sich die magnetischen Momente zweier gleichen, aber verschieden stark magnetisierten Magnetstäbe bei konstanter Wirkung des Erdmagnetismus wie die Quadrate ihrer Schwingungszahlen in gleichen Zeiten.

Für das gesuchte Verhältnis x hat man somit:

1). $x = 5^2 : 7^2$

Hieraus erhält man:

$$x = 25:49 = 1:\frac{49}{25} = 1:1{,}96$$

Aufgabe 44. Wie gross ist die Schwingungsdauer eines vollständig gesättigten Magnetstabs, welcher 10 cm lang, 1,5 cm breit und hoch ist, ein Gewicht von 168,5 Gramm hat und aus solchem Stahl besteht, wie ihn *Häcker* zu seinen Versuchen benutzte?

Formel 29: $T = c\,.\sqrt[3]{P}\,.\sqrt[6]{L}$

Auflösung. Setzt man nach den Erkl. 638 und 639 in vorstehender Formel:

$$T = x$$
$$c = 0{,}8$$
$$P = 168{,}5$$
$$L = 10$$

so erhält man zur Berechnung der gesuchten Schwingungsdauer x die Bestimmungsgleichung:

1). $x = 0{,}8\,.\sqrt[3]{168{,}5}\,.\sqrt[6]{10}$

Hieraus findet man x wie folgt:

$$\log x = \log 0{,}8 + \frac{1}{3}\cdot\log 168{,}5 + \frac{1}{6}\cdot\log 10$$

Nun ist:

$$\log 168{,}5 = 2{,}2265999$$
$$\cdot\frac{1}{3}$$
$$0{,}7421999$$
$$+\frac{1}{6}\cdot\log 10 = \frac{1}{6}\cdot 1{,}0000000 = 0{,}1666667$$
$$+\log 0{,}8 = 0{,}9030700-1$$
$$\log x = 1{,}8119566-1$$
$$\text{oder: } \log x = 0{,}8119566$$
$$9569$$

mithin:

$$x = 6{,}4857$$

Die gesuchte Schwingungsdauer ist also $= 6{,}5''$

Erkl. 638. Nach der Antwort der Frage 195 besteht nach *Häcker* zwischen der Schwingungsdauer T eines vollständig gesättigten Magnetstabs, dessen in Gramm ausgedrücktes Gewicht $= P$ und dessen in Centimter ausgedrückte Länge $= L$ ist, und zwischen einem konstanten Faktor c, dessen Grösse von dem verwendeten Material etc. abhängt, die Beziehung:

1). $T = c\,.\sqrt[3]{P}\,.\sqrt[6]{L}$

(siehe Formel 29)

Erkl. 639. Bei dem von *Häcker* zu seinen Experimenten benutzten Stahl ist der konstante Faktor c:

$$c = 0{,}8$$

Aufgabe 45. Die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren vollständig gesättigten Magnetstabs ist $= 5''$, sein Gewicht $= 200$ Gramm und seine Länge $=$ 1 dm. Welchen Wert erhält man für den

konstanten Faktor c in der *Häcker*schen Formel:

$$T = c.\sqrt[3]{P} \cdot \sqrt[6]{L}$$

Hülfsrechnung:

1). $log\, x = log\, 5 - \left(\frac{1}{3} \cdot log\, 200 + \frac{1}{6} \cdot log\, 10\right)$

Nun ist:

$$log\, 5 = \overset{(+1)}{}0{,}6989700^{(-1)}$$

$$-\tfrac{1}{3}\left(log\, 200 + \tfrac{1}{6} \cdot log\, 10\right) = -0{,}9336767 \text{ (siehe Hlfsr. 2)}$$

$$log\, x = 0{,}7652933 - 1$$

2959

mithin:

$x = 0{,}58250$

2). $\left(\frac{1}{3} \cdot log\, 200 + \frac{1}{6} \cdot log\, 10\right)$

$$= \tfrac{1}{3} \cdot 2{,}3010300 + \tfrac{1}{6} \cdot 1{,}0000000$$
$$= 0{,}7670100 + 0{,}1666667$$
$$= 0{,}9336767$$

Auflösung. Setzt man in der *Häcker*schen Formel:

$$T = c.\sqrt[3]{P} . \sqrt[6]{L}$$

(siehe Erkl. 638)

$$T = 5$$
$$c = x,$$
$$P = 200 \text{ und}$$
$$L = 1 \text{ dm} = 10 \text{ cm}$$

so erhält man für x die Bestimmungsgleichung:

1). $5 = x . \sqrt[3]{200} . \sqrt[6]{10}$

Hieraus ergibt sich:

$$x = \frac{5}{\sqrt[3]{200} . \sqrt[6]{10}}$$

oder nach nebenstehender Hülfsrechnung 1).:

$$x = 0{,}6$$

B). Ungelöste Aufgaben.

Aufgabe 46. Wie gross ist die Tragkraft eines *Häcker*schen Hufeisenmagnets, welcher 5 kg wiegt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 1.

Aufgabe 47. Wie gross ist die Tragkraft eines *Häcker*schen Hufeisenmagnets, welcher $^1/_3$ kg wiegt?

Aufgabe 48. Wie gross ist die Tragkraft eines *Häcker*schen Hufeisenmagnets, welcher 24 kg wiegt?

Aufgabe 49. Wie gross muss das Gewicht eines *Häcker*schen Hufeisenmagnets sein, dessen Tragkraft $9^1/_2$ kg betragen soll?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 2.

Aufgabe 50. Welches Gewicht muss ein Hufeisenmagnet besitzen, damit er möglichst stark magnetisiert das 5, bezw. das 10fache seines eigenen Gewichts tragen kann?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 3.

Aufgabe 51. Ein Hufeisenmagnet, welcher 6 kg wiegt und von einer schlechten Stahlsorte ist, beträgt 22 kg. Welchen Wert für den konstanten Faktor a findet man nach der *Häcker*schen Formel für diese Stahlsorte?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 4.

Aufgabe 52. Wie gross ist die Tragkraft eines der Pole eines *Häcker*schen Stabmagnets, welcher 5 kg wiegt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 6.

Aufgabe 53. Welches Gewicht muss ein Stabmagnet haben, wenn ein Pol desselben 5 kg tragen soll?

Aufgabe 54. Welches Gewicht muss ein Stabmagnet haben, damit ein Pol desselben die Hälfte des Gewichts des Magnets tragen kann?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 6 und der Aufgabe 8.

Aufgabe 55. Wenn eine Kraft einer Masse von 24 mg eine Beschleunigung von 75 mm pro Sekunde erteilt, wie gross ist jene Kraft in absolute Krafteinheiten ausgedrückt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 7.

Aufgabe 56. Wie gross ist die in absolute Einheiten ausgedrückte Kraft, welche einer Masse von 25 mg eine Beschleunigung von 15 mm erteilt?

Aufgabe 57. Wird einer Masse von 1 mg die Beschleunigung von 500 mm erteilt, wie gross ist alsdann jene diese Beschleunigung hervorrufende Kraft?

Aufgabe 58. Wie gross ist die Beschleunigung, welche eine Kraft von 25 absoluten Krafteinheiten einer Masse von 5 mg erteilt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 8.

Aufgabe 59. Eine Kraft von 200 absoluten Krafteinheiten erteilt einer Masse von 8 mg eine gewisse Beschleunigung; wie gross ist dieselbe?

Aufgabe 60. Auf eine Masse von 30 mg wirkt eine beschleunigende Kraft von 90 absoluten Krafteinheiten 8 Sekunden lang. Welchen Weg legt jene Masse in dieser Zeit zurück?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 9.

Aufgabe 61. Wenn eine Masse von 35 mg in 8 Sekunden unter dem Einfluss einer beschleunigenden Kraft 64 mm zurücklegt, wie gross ist diese Kraft nach absolutem Mass?

Andeutung. Wird gelöst analog der gelösten Aufgabe 9 durch Verbindung der in den Erklärungen 596 und 597 aufgestellten Relationen.

Aufgabe 62. Wie gross ist eine Masse, welcher von 60 absoluten Krafteinheiten eine solche Beschleunigung erteilt wird, dass sie in 6 Sekunden einen Weg von 36 mm zurücklegt?

Aufgabe 63. Der Aufhängedraht einer *Coulomb*schen Drehwage wird um 1^0 tordiert; welches ist die Wirkung der hierdurch hervorgerufenen Torsionskraft nach absolutem Mass, wenn das Trägheitsmoment des den Draht spannenden Gewichts $= 30 . 10^7$ mg ist und die beobachtete Schwingungsdauer $= 10''$ beträgt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 10.

Aufgabe 64. Wird der Aufhängedraht einer *Coulomb*schen Drehwage, welche mit einem Gewicht belastet ist, dessen Trägheitsmoment 25000000 mg beträgt, um 1^0 tordiert, so ist die beobachtete Schwingungsdauer $= 5''$; wie gross ist alsdann die hierdurch hervorgerufene Torsionskraft nach absolutem Mass?

Aufgabe 65. Befindet sich der Magnetstab einer *Coulomb*schen Drehwage bei untordiertem Aufhängedraht im magnetischen Meridian und wird bei einer Torsion des Aufhängedrahts von:

a). $1 . 360^0$
b). $2 . 360^0$
c). $3 . 360^0$
d). $4 . 360^0$
e). $5 . 360^0$

eine Ablenkung des Magnetstabs vom magnetischen Meridian bezw. von $10^0\ 15'$, $21^0\ 15'$, 33^0, 46^0, $63^0\ 30'$ beobachtet; welches ist alsdann das den einzelnen Torsionen entsprechende Drehungsmoment, welches die magnetische Erdkraft auf den Magnetstab ausübt, wenn der Torsionskoeffizient des Aufhängedrahts allgemein mit T bezeichnet wird?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 11.

Aufgabe 66. Durch Versuche wurde festgestellt, dass die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs $= 20$ Sekunden beträgt, und dass während dieser Zeit die Oscillationen des Stabs $= 6^0$ betrugen. Welches ist die auf isochrone Schwingungen reduzierte Schwingungsdauer?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 12.

Aufgabe 67. Ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab macht Schwingungen, deren Amplituden $= 20^0$ betragen. Die beobachtete Schwingungsdauer dieses Magnetstabs ist 10 Sekunden; welches ist die auf isochrone Schwingungen reduzierte Schwingungsdauer dieses Magnetstabs?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 12. Werden die Schwingungsbogen so gross, dass $\sin\alpha$ nicht mehr $= arc\,\alpha\ (= \alpha)$ gesetzt werden kann, so muss man die in der Erkl. 604 aufgestellte Gleichung 2). benutzen, kann hierbei jedoch die Glieder in der Klammer, vom 2. ab, vernachlässigen.

Aufgabe 68. Wie gross ist der in Sekunden ausgedrückte 5. Schwingungsbogen

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 13.

einer gewöhnlichen Magnetnadel, bei gewöhnlicher Luft, wenn der 1. Schwingungsbogen 18000 Sekunden beträgt?

Aufgabe 69. Bei gewöhnlicher Luft ist der 1. Schwingungsbogen einer gewöhnlichen Magnetnadel $= 5^0$; wie gross ist der 10. Schwingungsbogen derselben?

Aufgabe 70. Einem in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstäbchen, welches pro Minute 15 Schwingungen macht, wird ein andrer kräftiger und langer Magnetstab so genähert, dass die Axe desselben im magnetischen Meridian jenes Stäbchens liegt, und dass der Südpol desselben dem Nordpol des Stäbchens am nächsten ist. Wenn nun in einer Entfernung von 10 cm dieser beiden Pole das Stäbchen 41 Schwingungen und in der doppelten Entfernung von 10 cm das Stäbchen 24 Schwingungen macht, wie kann man hieraus das Verhältnis der Intensität der gegenseitigen Anziehungen berechnen, und welches sind die Näherungswerte dieses Verhältnisses?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 14.

Aufgabe 71. Zwei magnetische Fluida, deren Mengen durch die Zahlen 4 und 5 ausgedrückt sind, wirken in einer Entfernung von 6 mm aufeinander. Welches ist die anziehende Kraft beider aufeinander?

Andeutung. Man beachte die Erkl. 609.

Aufgabe 72. Wenn auf eine im Raum befindliche, punktförmig gedachte Masse von 500 mg, welche 35000 Einheiten positives magnetisches Fluidum enthält, plötzlich aus der Entfernung von 25 mm eine aus 700 Einheiten bestehende Menge negatives magnetisches Fluidum wirkt, welche Beschleunigung wird hierdurch jener in Ruhe befindlichen Masse im ersten Augenblick erteilt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 15.

Aufgabe 73. Denkt man sich eine in Ruhe befindliche, punktförmige Masse von 150 mg, welche 15000 Einheiten negatives magnetisches Fluidum enthält, aus der Entfernung von 60 mm auf eine aus 600 Einheiten bestehende Menge negativen magnetischen Fluidums plötzlich wirkend, wie gross wird dann die jener Masse im ersten Augenblick erteilte Beschleunigung sein?

Aufgabe 74. Auf ein in horizontaler Ebene drehbares dünnes Magnetstäbchen von 50 mm Länge, welches in jedem seiner Pole 200 Einheiten freien Magnetismus enthält,

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 18.

wirkt ein nordmagnetisches Partikelchen, welches 1000 Einheiten freien Magnetismus enthält und eine solche Lage hat, dass es in der Horizontalebene jenes Stäbchens und in einer senkrechten Entfernung = 10 mm von der Mitte desselben liegt. Welches Drehungsmoment wird infolgedessen jenem Stäbchen erteilt, wenn die Masse desselben nicht berücksichtigt wird?

Aufgabe 75. Wie heisst das Resultat der vorhergehenden Aufgabe, wenn das Stäbchen eine Länge l (= 200) mm hat und in jedem seiner Pole m (= 100) magnetische Einheiten enthält; wenn ferner das magnetische Partikelchen m_1 (= 1000) magnetische Einheiten Südmagnetismus enthält und seine senkrechte Entfernung von der Mitte jenes Stäbchens r (= 100) mm beträgt?

Aufgabe 76. Wenn F die Kraft bedeutet, mit welcher ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab, der um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkt ist, in denselben zurückzukehren sucht; wie gross ist alsdann die Kraft, mit welcher er bei einer Ablenkung:

a). von 60°
b). von 45°

in den magnetischen Meridian zurückzukehren strebt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 20.

Aufgabe 77. Wenn eine Deklinationsnadel an einem Ort 75 Schwingungen, an einem andern Ort 90 Schwingungen pro Minute macht, in welchem Verhältnis stehen alsdann die Direktionskräfte dieser Nadel an den beiden Orten?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 21.

Aufgabe 78. Zwei in horizontaler Ebene schwingende Magnetstäbe machen an einem und demselben Ort bezw. 380 und 440 Schwingungen in dem Zeitraum von 10 Minuten. In welchem Verhältnis stehen die Direktionskräfte beider Magnete?

Aufgabe 79. Von zwei ganz gleichen in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstäben macht der eine pro Minute 14, der andre aber 18 Schwingungen. Wie verhalten sich die magnetischen Kräfte beider Stäbe?

Aufgabe 80. Lässt man eine Deklinationsnadel nur unter dem Einfluss der Erde oscillieren und sie macht in 5 Minuten 200 Schwingungen, nähert alsdann einen kräf-

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 22.

tigen Magnet und sie macht in derselben Zeit 300 Schwingungen, so soll man aus diesen Angaben das Verhältnis der auf jene Nadel wirkenden magnetischen Intensitäten des genäherten Magnetstabs und des Erdmagnetismus berechnen?

Aufgabe 81. Ein Magnetstab soll stärker magnetisiert werden; dann soll man berechnen, wievielmal die magnetische Kraft des stärker magnetisierten Stabs grösser ist als seine frühere. Zur diesbezügl. Berechnung wurde experimentell festgestellt, dass wenn der Magnetstab vor dem stärkermagnetisieren in eine *Coulomb*sche Drehwage aufgehängt wird, eine Drehung des Knopfes y, siehe Figur 128, von 170° erforderlich ist, um den Magnetstab um 17° aus seinem magnetischen Meridian abzulenken, dass wenn aber der Magnetstab nach dem stärkermagnetisieren in einer *Coulomb*schen Drehwage aufgehängt wird, eine Drehung des Knopfes y von 558° erforderlich ist, um denselben um 18° aus seinem magnetischen Meridian abzulenken?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 23.

Aufgabe 82. Die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs beträgt 15″. Mit welcher Kraft (in absolute Krafteinheiten ausgedrückt) wird derselbe aus der um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Lage in denselben zurückgeführt, wenn die Länge des Magnetstabs = 600 mm, die Breite = 30 mm und die Dicke = 12 mm beträgt und das spezifische Gewicht des Materials, aus welchem der Magnetstab verfertigt ist = 7,2 ist?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 25.

Aufgabe 83. Wie heisst das Resultat der vorhergehenden Aufgabe, wenn die Schwingungsdauer des betreffenden Magnetstabs = 20, bezw. = 25″ beträgt?

Aufgabe 84. Zu Paris betrug im Jahre 1874 die magnetische Deklination 17° 30′, in Dresden 12° westlich. Um wieviel Bogengrade nach links liegt vom magnetischen Meridian dieser Orte ab gerechnet die geographische Westrichtung beider Orte?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 28.

Aufgabe 85. Zu Leipzig und Eisenach betrugen im Jahre 1874 die magnetischen Deklinationen bezw. $12\frac{2}{3}$° und 13° 30′ westlich. Um wieviel Bogengrade nach rechts liegt vom magnetischen Meridian dieser Orte ab gerechnet die geographische Westrichtung beider Orte?

Aufgabe 86. Aus einer *Lamont*schen magnetischen Karte ergibt sich, dass die Inklination zu Köln um 3,6°, die Inklination zu Frankfurt a. M. um 1,5°, die Inklination zu Stuttgart um 1,2° grösser als zu München ist. Welches würde jetzt die Inklination an diesen Orten sein, wenn man annimmt, dass die Inklination an diesen Orten stets dieselbe bliebe und dass jetzt die Inklination zu Göttingen 66,1° beträgt und um 2° grösser als zu München ist?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 31.

Aufgabe 87. Um mittels einer einfachen Inklinationsnadel nach der sogen. Schwingungsmethode die Inklination eines Orts zu bestimmen, wurde beobachtet, dass diese Nadel, wenn sie sich in ihrem magnetischen Meridian befindet, pro Minute 36 Schwingungen machte, und dass sie, wenn die durch diese Nadel gelegt gedachte vertikale Ebene um 90° aus dem magnetischen Meridian gedreht wurde, wenn also nach der Aufgabe 34 die Nadel vertikal stand, pro Minute 32 Schwingungen machte. Wie gross ist nach diesen Beobachtungen die Inklination des Orts?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 35.

Aufgabe 88. In Wien, dessen magnetische Horizontalintensität = 1,995 absolute Einheiten beträgt, macht ein Magnetstab in 5 Minuten 20 Schwingungen; wenn man nun weiss, dass z. B. in Christiania die magnetische Horizontalintensität = 1,547 absolute Masseinheiten beträgt, wie kann man hieraus berechnen, wieviel Schwingungen jener Magnetstab in 5 Minuten in Christiania machen wird?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 37.

Aufgabe 89. In Dresden betrug im Jahr 1874 die Horizontalintensität = 1,92 absolute Masseinheiten. Welches ist die Schwingungsdauer eines Magnetstabs, dessen Trägheitsmoment = $2500 \cdot 10^7$ mg und dessen Direktionskraft bei rechtwinkliger Stellung gegen den magnetischen Meridian $1200 \cdot 10^7$ absolute Einheiten betrug?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 38.

Aufgabe 90. Wie heisst das Resultat der vorhergehenden Aufgabe für Prag, in welchem 1874 die Horizontalintensität i = 1,96 beobachtet wurde?

Aufgabe 91. In Eisenach betrug die Schwingungsdauer eines in horizontaler Ebene drehbaren Magnetstabs 9,86″; wie gross ist die Horizontalintensität des Erdmagnetismus daselbst, wenn das Trägheitsmoment jenes Magnetstabs = $2500 \cdot 10^7$ mg und das mag-

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 39.

netische Moment desselben $= 1200 . 10^7$ absolute Einheiten betrug?

Aufgabe 92. Wie gross ist die Horizontalintensität des Erdmagnetismus zu Stuttgart und Frankfurt a. M. zu einer gewissen Zeit, wenn die Schwingungsdauer eines Magnetstabs an diesen Orten bezw. 9,68″ und 10,01″ beträgt und wenn das Trägheitsmoment des benutzten Magnetstabs an beiden Orten $24000 . 10^6$ mg und das magnetische Moment desselben $12000 . 10^6$ absolute Einheiten beträgt?

Aufgabe 93. Gegenwärtig beträgt zu Göttingen die Horizontalintensität ungefähr 1,79. Wie kann man mittels einer *Lamont*schen Intensitätskarte hiernach die Horizontalintensität von München und Danzig bestimmen, wenn man nach dieser Karte weiss, dass dieselbe in Göttingen um 0,15, in Danzig aber um 0,20 kleiner ist als in München?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 40.

Aufgabe 94. Wie gross ist die Totalintensität

a). zu München,
b). zu Göttingen,

wenn die Inklination an diesen Orten bezw. $= 64{,}1^0$ und $66{,}6^0$, die Horizontalintensitäten bezw. $= 2{,}01$ und $1{,}86$ sind?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 40.

Aufgabe 95. Welche Schwingungsdauer hat ein *Häcker*scher vollständig gesättigter Magnetstab, dessen Gewicht 175 Gramm und dessen Länge 12 cm beträgt?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 43.

Aufgabe 96. Ein in horizontaler Ebene drehbarer Magnetstab macht in 5 Minuten 16 Schwingungen; nachdem derselbe bis zu seiner vollständigen Sättigung stärker magnetisiert wurde, macht er in 5 Minuten 20 Schwingungen. Um den wievielten Teil seiner ursprünglichen magnetischen Kraft hat derselbe bis zur vollständigen Sättigung zugenommen?

Andeutung. Analog der gelösten Aufgabe 44.

Aufgabe 97. Man soll aus der *Häcker*schen Formel:

$$T = c . \sqrt[3]{P} \cdot \sqrt[6]{L}$$

den konstanten Faktor c für einen solchen Magnetstab berechnen, der horizontal aufgehängt eine Schwingungsdauer von 6″ hat, und dessen Gewicht 250 Gramm und dessen Länge 1,3 dm beträgt?

C). Zusammenstellung der Formeln, welche in diesem Buche entwickelt und benutzt sind.

1). Häckers Formeln zur Bestimmung der Tragkraft von Stab- und Hufeisenmagneten.

Anmerkungen.

Formel 1: $S = a.\sqrt[3]{P^2}$ (siehe Antw. d. Frage 148)

a). Für Hufeisenmagnete bedeutet: S die Tragkraft, P das Gewicht des Magnets, beide in kg ausgedrükt; für Stabmagnete bedeutet: S die Tragkraft eines Pols, P das Gewicht des Magnets, beide in kg ausgedrückt; a bedeutet einen konstanten Faktor (= 10,33), s. Erkl. 390.

Formel 2: $S^3 : S_1{}^3 = P^2 : P_1{}^2$. . (siehe Antw. d. Frage 148)

b). S und S_1 bedeuten die Tragkräfte, P und P_1 die Gewichte zweier Magnete von gleicher magnetischer Beschaffenheit.

2). Biots Formeln für die nach den Coulombschen Versuchen dargestellte Intensitätskurve.

Formel 3: $y = A\,(m^x - m^{2l-x})$

Formel 4: $A = \frac{D}{n^2}\,(n_1{}^2 - n^2)$

(siehe Erkl. 405)

c). Ueber die Bedeutung der einzelnen Buchstaben siehe die Erkl. 405.

3). Formeln, durch welche das in Antwort der Frage 157 aufgestellte Ablenkungsgesetz ausgedrückt ist.

Formel 5: $M : M_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha_1)$

Formel 6: $M : M_1 = sin\alpha : sin\alpha_1$

(siehe Antw. d. Frage 157)

d). M und M_1 bedeuten die Drehungsmomente, welche die erdmagnetische Kraft auf den Magnetstab einer *Coulomb*schen Torsionswage ausübt, wenn $(\delta - \alpha)$ und $(\delta_1 - \alpha_1)$ die entsprechenden Torsionswinkel, bezw. wenn α und α_1 die Ablenkungswinkel darstellen.

4). Formeln zur Bestimmung des magnetischen Moments eines Magnetstabs und des Drehungsmoments (der Direktionskraft), welches die erdmagnetische Kraft auf einen um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt.

Formel 7: $D = m.T.L$ (siehe Antw. d. Frage 162)

Formel 8: $D : D_1 = M : M_1$

Formel 9: $M = \frac{D}{T}$

. . (siehe Antw. d. Frage 163)

Dies ist auch Formel 20 (siehe Antw. der Frage 170)

Formel 25: $M = \sqrt{D.r^3.tgu}$. . (siehe Erkl. 531)

e). D bedeutet das Drehungsmoment, welches die erdmagnetische Kraft auf einen um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstab ausübt; T bedeutet das Drehungsmoment, welches die erdmagnetische Kraft auf die in den Polen des um 90° aus seinem magnetischen Meridian abgelenkten Magnetstabs zu denkende Einheit des freien Magnetismus ausübt; m bedeutet die in jedem der Pole angehäuft zu denkende Menge freien Magnetismus; L bedeutet die Länge des Magnetstabs; M bedeutet das magnetische Moment (= $m.L$) des Magnetstabs; in betreff der Bedeutung von $r^3.tgu$ siehe das nähere über das sogen. reduzierte Drehungsmoment (Antwort der Frage 177); M_1 bedeutet das magnetische Moment eines andern Magnetstabs und D_1 hat dieselbe Bedeutung wie D, nur für einen andern Magnetstab;

		Anmerkungen.
Formel 10: $D = T \cdot \frac{\delta - \alpha}{\sin \alpha}$ Formel 11: $D : D_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha)$	(siehe Antw. d. Frage 165)	f). Die Buchstaben D und D_1, M und M_1 haben dieselbe Bedeutung wie unter e). angegeben ist; $(\delta - \alpha)$, $(\delta_1 - \alpha)$ und α haben dieselbe Bedeutung wie unter d). angegeben ist; die Buchstaben n und n_1 bedeuten die Schwingungszahlen zweier gleicher Magnetstäbe und der Buchstabe T bedeutet hier den Torsionskoeffizienten des Aufhängedrahts (siehe Erkl. 419).
Formel 12: $M : M_1 = (\delta - \alpha) : (\delta_1 - \alpha)$	(siehe Erkl. 443)	
Formel 13: $D : D_1 = n^2 : n_1^2$. . .	(siehe Antw. d. Frage 166)	
Formel 14: $M : M_1 = n^2 : n_1^2$. . .	(siehe Erkl. 466)	
Formel 15: $D = \frac{\pi^2 . K}{t^2}$	(siehe Antw. d. Frage 167)	g). D hat dieselbe Bedeutung wie unter e). angegeben ist; K bedeutet das Trägheitsmoment des Magnetstabs und t die Schwingungsdauer desselben. Desgleichen gilt für die Buchstaben: D_1, K_1 und t_1, nur beziehen sich dieselben auf einen andern Magnetstab.
Formel 16: $D : D_1 = K : K_1$ Formel 17: $D : D_1 = t_1^2 : t^2$. .	(siehe Erkl. 451)	

5). Formeln zur Bestimmung des Trägheitsmoments eines Magnetstabs.

Formel 18: $K = 2 \cdot \frac{p}{g} \cdot \frac{r_1^2 - r_2^2}{t_1^2 - t_2^2} \cdot t^2$	(siehe Antw. d. Frage 169)	h). In betreff der Bedeutung der Buchstaben siehe Erkl. 458.
Formel 19: $K = \frac{l^2 + b^2}{12} \cdot \frac{p}{g}$. .	(siehe Erkl. 463)	i). In betreff der Bedeutung der Buchstaben siehe Erkl. 463.

6). Formeln zur Bestimmung der Intensität der Anziehung und Abstossung aufeinander wirkender Magnetismen und Magnete.

Formel 21: $p = \frac{m . m_1}{r^2}$ oder: $p = -\frac{m . m_1}{r^2}$. .	(siehe Erkl. 470)	k). m und m_1 bedeuten die Mengen einfacher Magnetismen, welche aufeinander wirken; r bedeutet deren Entfernung und p bedeutet die Intensität der gegenseitigen Anziehung oder Abstossung.
Formel 22: $p = \frac{m . m_1}{r^3}$ oder: $p = -\frac{m . m_1}{r^3}$. .	(siehe Erkl. 477)	l). m und m_1 bedeuten die Mengen freien Magnetismus, welche man sich bezügl. in den Polen zweier aufeinander wirkenden Magnete angehäuft zu denken hat; r bedeutet die Entfernung der Mittelpunkte beider Magnete und p bedeutet die Intensität der gegenseitigen Anziehung und Abstossung.

7). Formeln zur Bestimmung des Drehungsmoments T, welches der Erdmagnetismus auf eine mit der Einheit des freien Magnetismus begabte Magnetnadel ausübt, welche in horizontaler Ebene drehbar und um 90° aus ihrem magnetischen Meridian abgelenkt ist.

Formel 23: $T = \sqrt{\frac{D}{r^3 . tg u}}$ Formel 24: $T = \frac{\pi}{t} \cdot \sqrt{\frac{K}{r^3 . tg u}}$	(siehe Antw. d. Frage 178)	m). D bedeutet das in obenstehender Ueberschrift erwähnte Drehungsmoment; D_1, K und t haben dieselbe Bedeutung wie unter g). angegeben ist; $r^3 . tg u$ bedeutet das sogen. reduzierte Drehungsmoment, siehe Antw. der Frage 177.

8). Formeln zur Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus.

Formel 26: $J = \frac{i}{\cos\psi}$ (siehe Antw. d. Frage 189)

Formel 27: $i = T$. . . (siehe Antw. d. Frage 191)

Formel 28: $T_1 = T \cdot \frac{tg\,u}{tg\,u_1}$. . (siehe Erkl. 537)

Anmerkungen.

n). J bedeutet die Totalintensität, i die Horizontalintensität des Erdmagnetismus und ψ bedeutet die magnetische Inklination des betreff. Orts. Ferner hat T, bezw. T_1 dieselbe Bedeutung wie unter m). angegeben ist und schliesslich bedeuten u und u_1 die Ablenkungswinkel, welche der Magnetstab an einer Deklinationsnadel bewirkt, siehe die Erkl. 536.

9). Formel zur Bestimmung des Sättigungspunkts.

(Häckers Formel.)

Formel 29: $T = c.\sqrt[3]{P}.\sqrt[6]{L}$. . (siehe Antw. d. Frage 195)

o). P bedeutet das in gr ausgedrückte Gewicht, L die in cm ausgedrückte Länge des Magnetstabs, T bedeutet die Schwingungsdauer, c ist ein konstanter Faktor $= 0{,}8$ (siehe Erkl. 545).

10). Formeln zur Bestimmung der bei feineren Messinstrumenten vorzunehmenden Korrektionen.

α). Korrektion bei veränderter Temperatur.

Formel 30: $M_1 = M\,(1 - \alpha\,(t_1 - t))$ (siehe Erkl. 569)

β). Korrektion für isochrone Schwingungen.

Formel 31: $t_1 = t.\left(1 - \frac{1}{16}\,\alpha^2\right)$. (siehe Erkl. 573)

Formel 32: $t = t_1.\left(1 - \frac{1}{64}\,(\alpha_1 + \alpha_2)^2\right)$

γ). Korrektion für die Torsion des Aufhängedrahts.

Formel 33: $t = t_1.\left(1 + \frac{1}{2}\,\gamma\right)$. . (siehe Erkl. 573)

p). In betreff der in diesen Formeln vorkommenden Buchstaben siehe die Erkl. 569 und 573.

11). Formeln zur indirekten Bestimmung der magnetischen Inklination.

Formel 34: $tg\,\psi = \frac{r^3}{a.D} \cdot tg\,u$

Formel 35: $tg\,\psi = c.tg\,u$

. (siehe Antw. d. Frage 200)

q). In betreff der Bedeutung der einzelnen Buchstaben siehe die Antwort der Frage 200.

STAATSBIBLIOTHEK BAMBERG

FERD. SCHNEIDER

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Kleyer, Adolph

Lehrbuch des Magnetismus und des Erdmagnetismus nebst einer Sammlung von gelösten und ungelösten Aufgaben ; ... ; zum Gebrauch an niederen und hö heren Schulen, sowie zum rationellen Selbststudium

Stuttgart 1885

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.139-a
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11846210-7